

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



TRABAJO FIN DE GRADO

ANÁLISIS DE LA POSIBLE PARTICIPACIÓN DE LA
DEMANDA INDUSTRIAL EN LOS SERVICIOS DE
AJUSTE DEL SISTEMA ELÉCTRICO.

CEMENTO, PAPEL Y METALURGIA NO FÉRREA

Índice de Contenidos:

1.- Introducción	6
1.1.- Análisis del problema para dar solución con el presente trabajo.....	6
1.2.- Estructura de la Memoria	6
1.3.- Medios empleados para la realización de la misma	6
2.- Objetivo del Trabajo Fin de Grado	7
3.- El mercado Eléctrico en España	8
3.1.- Introducción	8
3.2.- Situación actual	8
3.2.1.- Marco regulatorio	9
3.2.2.- Demanda de la energía eléctrica y su cobertura en la Península Ibérica	9
3.2.2.1.- Sistema Peninsular	9
3.2.3.- Generación del régimen ordinario y régimen especial.....	11
3.2.3.1.- Régimen Especial.....	11
3.2.3.2.- Régimen Ordinario	11
3.2.4.- Operación del Sistema	12
3.2.5.- Red de transporte y distribución	14
3.2.6.- Comercialización	15
3.2.7.- Calidad de Servicio	16
3.3.- Agentes del mercado	17
3.3.1.- Operaciones: Sistema y Mercado	17
3.3.2.- Mercado eléctrico diario	17
3.3.2.1.- Funcionamiento	18
3.4.- Mercado eléctrico intradiario	19
3.5.- Mercado de servicios de ajuste.....	21
3.6.- Períodos tarifarios	22
4.- Procedimientos de operación del operador del sistema (REE)	25
4.1.- Procedimientos de operación con posible participación de la demanda industrial.....	25
4.1.1.- Introducción	25
4.1.2.- Gestión de Desvíos.....	26
4.1.3.- Establecimiento de las reservas.....	28
3.2.3.1.- Reserva de potencia adicional a subir	28

Trabajo Fin de Grado: Memoria

3.2.3.2.- Control de tensión.....	28
3.2.3.3.- Regulación terciaria.....	29
5.- Análisis de la participación de la demanda industrial en los servicios de ajuste (Europa).	30
5.1.-Introducción.....	30
5.2.- Situación actual en Europa.....	31
5.2.1.- Reino Unido (United Kingdom)	31
5.2.2.- Francia.....	31
5.3.- Aspectos importantes para la adaptación de los sectores industriales a los servicios de ajuste.....	32
5.3.1.- Potencia contratada y mínimo técnico	32
5.3.2.- Tipo de consumo.....	32
5.3.3.- Rampas de subida y bajada de potencia.....	32
5.3.4.- Preaviso.....	33
5.3.5.-Tiempo de mantenimiento de la reducción de potencia.....	33
5.3.6.- Reserva de potencia a subir	33
6.- Demanda eléctrica de los procesos productivos	34
6.1.- Introducción	34
6.2.- Sector de producción del cemento	34
6.2.1.- Introducción al sector del cemento	34
6.2.2.- Proceso productivo del cemento	34
6.2.3.- Posible participación del sector industrial del cemento a los servicios de ajuste ...	38
6.2.4.- Demanda eléctrica del sector del cemento	41
6.2.5.- Conclusiones del sector del cemento	42
6.3.- Sector de producción del papel	43
6.3.1.- Introducción al sector del papel	43
6.3.2.- Proceso productivo del papel	45
6.3.3.- Posible Participación del sector industrial del papel a los servicios de ajuste	47
6.3.4.- Análisis de la curva de consumo eléctrico de una planta de producción de papel .	48
6.3.5.- Conclusiones del sector industrial del papel.....	49
6.4.- Sector productivo de metales no férricos	50
6.4.1.- Introducción al sector de los metales no férricos	50
6.4.2.- Proceso productivo del cobre	50

Trabajo Fin de Grado: Memoria

6.4.2.1.- Pirometalurgia.....	50
6.4.2.2.- Hidrometalurgia	51
6.4.2.3.- Conclusiones producción de cobre	52
6.4.2.3.- Ventajas e inconvenientes	52
6.4.3.- Proceso productivo del aluminio	53
6.4.3.1.-Introducción	53
6.4.3.2.- Fases del proceso productivo.....	53
6.4.3.3.- Conclusiones producción de aluminio	54
6.4.5.- Proceso productivo del zinc	54
6.4.5.1.-Introducción	54
6.4.5.2.- Fases del proceso productivo.....	55
6.4.5.3.- Conclusiones producción de zinc	55
7.- Presupuesto	57
8.- Cronograma.....	58
9.- Conclusiones	60
9.1.- Conclusiones Técnicas.....	60
9.2.- Conclusiones personales	61
10.- Bibliografía	62

Índice de Figuras:

[Figura 1: Evolución de la demanda eléctrica en el Sistema Eléctrico Español \(REE\)](#)

[Figura 2: Condicionantes de la demanda eléctrica en el Sistema Eléctrico Español \(REE\)](#)

[Figura 3: Evolución de la generación eléctrica en el Sistema Eléctrico Español \(REE\)](#)

[Figura 4: Evolución de la generación eléctrica en el Sistema Eléctrico Español \(REE\)](#)

[Figura 5: Componentes del precio final de la electricidad del Sistema Eléctrico Español \(REE\)](#)

[Figura 6: Horas con desvíos contrarios al sistema \(REE\)](#)

[Figura 7: Coste del desvío en relación con el precio del mercado diario \(REE\)](#)

[Figura 8: Principales agentes que provocan los desvíos en Sistema Eléctrico Español \(REE\)](#)

[Figura 9: Sobrecoste de los servicios de ajuste en el precio final medio \(REE\)](#)

[Figura 10: Proceso de trituración y almacenamiento de la caliza \(Maquinarias Shibang\)](#)

[Figura 11: Proceso completo de producción del cemento \(Oficemen\)](#)

[Figura 12: Patrón de consumo eléctrico semanal de una cementera](#)

[Figura 13: Reparto por horas de la energía demandada por una cementera](#)

[Figura 14: Esquema de los componentes que forman el papel](#)

[Figura 15: Evolución de la importación, importación exportación y consumo de derivados del papel \(ASPAPPEL\)](#)

[Figura 16: Localización de las principales fábricas de papel en España \(ASPAPPEL\)](#)

[Figura 17: Proceso de producción del papel](#)

[Figura 18: Patrón de consumo eléctrico semanal de una fábrica de papel](#)

[Figura 19: Proceso de producción del cobre](#)

[Figura 20: Proceso de producción del zinc](#)

Índice de Tablas:

Tabla 1: Evolución de la demanda eléctrica en el Sistema Eléctrico Español (REE)

Tabla 2: Kilómetros y posiciones de línea eléctrica del Sistema Eléctrico Español (REE)

Tabla 3: Horarios de apertura y cierre de la sesión del mercado intradiario

Tabla 4: Períodos tarifarios de Sistema Eléctrico Español

Tabla 5: Ventajas e inconvenientes de los molinos verticales y de bolas

Tabla 6: Evolución de la producción mundial de cobre

1.- Introducción:

1.1.- Análisis del problema para dar solución con el presente trabajo.

Mediante este Trabajo Fin de Grado, se pretende realizar un análisis preliminar para identificar si las industrias del papel, del cemento y de la metalurgia no férrea puedan prestar algún servicio de ajuste al Operador del Sistema.

Para que se pueda llegar a una conclusión final, se deben analizar los tres sectores industriales por separado, teniendo en cuenta sus restricciones técnicas y regulatorias, así como los servicios de ajuste de la operación del sistema existentes en la actualidad.

1.2.- Estructura de la memoria.

Esta memoria se divide en tres partes, las cuales se describen a continuación:

- En la primera parte se trata de introducir al lector en los conocimientos acerca del Sistema Eléctrico Español necesarios para que pueda entender los razonamientos posteriores que justifican la viabilidad técnico-económica de la posible participación de los sectores industriales indicados en los servicios de ajuste del sistema.
- Mediante la segunda parte, se explican en detalle los servicios de ajuste de la operación del sistema existentes en España, incluyendo tanto sus características técnicas como económicas.
- Por último, en la tercera parte, se analizan los procesos de los sectores industriales analizados en este Trabajo Fin de Grado. Se hace una distinción entre aquellos procesos que emplean que podrían participar en determinados servicios de ajuste y aquellos que no.

En este apartado, dentro de cada sector industrial, se identifican los procesos y sus capacidades técnicas para prestar determinados servicios de ajuste.

Por último, se realizan unas conclusiones técnicas y personales del TFG, además de un cronograma en el que se detalla el tiempo empleado en cada una de las fases de realización del Trabajo Fin de Grado.

1.3.- Medios empleados para la redacción de la misma.

Para la realización de este Trabajo Fin de Grado no se ha empleado ninguna herramienta de simulación, se ha utilizado la información relativa a los aspectos explicados en el mismo (la cual se encuentra referenciada en la bibliografía) y un ordenador donde sintetizar esta información y redactar la presente memoria.

2.- Objetivos del Trabajo Fin de Grado

Los objetivos fundamentales de este Trabajo fin de Grado son:

- Comprobar la posible participación de los sectores industriales (cemento, papel y metalurgia no férrea) a los Servicios de Ajuste de Operación del Sistema Eléctrico.
- Identificar los servicios de ajuste y las capacidades técnicas de los sectores industriales citados anteriormente para participar en ellos.

3.- El mercado eléctrico en España.

3.1.- Introducción

El sistema eléctrico español lo forman los consumidores (sectores: residencial, servicios e industrial), las redes de transporte y distribución de energía eléctrica y los generadores.

Los consumidores,

Sector residencial: Está formado por las viviendas. Se caracterizan por solicitar una pequeña potencia unitaria de la red y por recibirla en baja tensión (230 - 400V).

Sector servicios: Está formado por el transporte, los pequeños y medianos comercios, los centros comerciales, los hospitales, la restauración, etc. Estos usan una mayor potencia unitaria que el sector residencial y dependiendo de las características del mismo se encuentran conectados en baja tensión (como en el caso de pequeños comercios), o en media tensión (en el caso de los hospitales y los centros comerciales).

Sector industrial: Lo componen las plantas industriales. Su consumo, generalmente es muy elevado, y debido a que requieren una alta potencia, su suministro se produce a altas tensiones, variando desde los 400kV (en muy pocos casos) hasta los 15-25kV.

Las redes de transporte y distribución se encargan de trasladar la energía eléctrica desde los centros de generación a los centros de consumo. El transporte se realiza a 220 y 400 kV. La distribución se realiza a tensiones inferiores a 220kV (generalmente 132kV) y llega hasta la baja tensión ($U < 1000V$).

Los generadores son los encargados de producir la energía eléctrica que demandan los centros de consumo. Por la regulación española, se pueden clasificar en dos tipos:

- Régimen especial: Es aquel que se emplea como complemento al Régimen Ordinario. Se caracteriza por no producir emisiones directas de gases de efecto invernadero y emplea el tratamiento de residuos, biomasa, hidráulica, eólica, solar y cogeneración.
- Régimen ordinario (R.O): Es aquel conjunto de generadores de energía eléctrica que no emplean la misma tecnología que el régimen especial. Se caracterizan por emplear tecnologías que emiten gases de efecto invernadero de forma directa y su precio se obtiene en un mercado diario e intradiario sin primas ni ayudas a estas tecnologías.

Además en España, hay dos sistemas eléctricos independientes, el sistema eléctrico peninsular y los sistemas eléctricos extra-peninsulares.

3.2.- Situación actual.

Para que se pueda definir y explicar la situación actual del sistema eléctrico español se deben tener en cuenta los diferentes ámbitos que lo componen:

3.2.1.- Marco regulatorio

El marco regulatorio del sistema eléctrico español es muy extenso, pero de las que tienen una mayor importancia son Ley del sector eléctrico 54/1997 del 27 de Noviembre y el Real Decreto 1955/2000, los cuales se citan y resumen a continuación:

- **Ley del Sector eléctrico (LSE) 54/1997:** El objeto básico de esta ley es *“establecer la regulación del sector eléctrico, con el triple y tradicional objetivo de garantizar el suministro eléctrico, garantizar la calidad de dicho suministro y garantizar que se realice al menor coste posible, todo ello sin olvidar la protección del medioambiente”*.

Los principios regulatorios en los que se basa la reforma introducida por la LSE son:

- a) La separación entre actividades reguladas (transporte y distribución) y aquellas que se pueden desarrollar en régimen de libre competencia (generación y comercialización),
- b) La progresiva liberalización de la contratación y elección del suministrador de los consumidores finales.
- c) La libertad de acceso a las redes de transporte y distribución mediante el pago de peajes.
- d) La creación de las figuras del operador del sistema encargado de la gestión técnica y del operador del mercado encargado de la gestión económica del sistema.

- **Real Decreto 1955/2000:** Su objeto es *“establecer el régimen jurídico aplicable a las actividades de transporte, distribución, comercialización y suministro de energía eléctrica y a las relaciones entre los distintos sujetos que las desarrollan, estableciendo las medidas necesarias encaminadas a garantizar este servicio esencial a todos los consumidores finales”*.

3.2.2.- Demanda de la energía eléctrica y su cobertura.

3.2.2.1.- Sistema Peninsular.

El Sistema Peninsular es uno de los dos que componen el sistema eléctrico español. La demanda de energía eléctrica requerida por los sectores industriales y los domicilios dentro de nuestro país, se transporta hasta los consumidores finales a través de las líneas de transporte y distribución.

Además, la demanda de energía eléctrica es considerada por el gobierno y por REE (Red Eléctrica de España) como un indicador de la salud económica de un país, siendo directamente proporcional a ella. Esto es debido a que si hay un mayor consumo de energía eléctrica, significa que el país tiene una mayor actividad.

Trabajo Fin de Grado: Memoria

Por lo tanto, debido a que el consumo de energía eléctrica en 2012 fue de 252,19 TWh, reduciéndose en un 1,2% con respecto al 2011 (un 1,7% una vez corregidos los efectos de la laboralidad y la temperatura), la economía española se está contrayendo.

Tal y como se puede observar en la tabla 1 en la que se muestra la evolución en barras del sistema eléctrico peninsular:

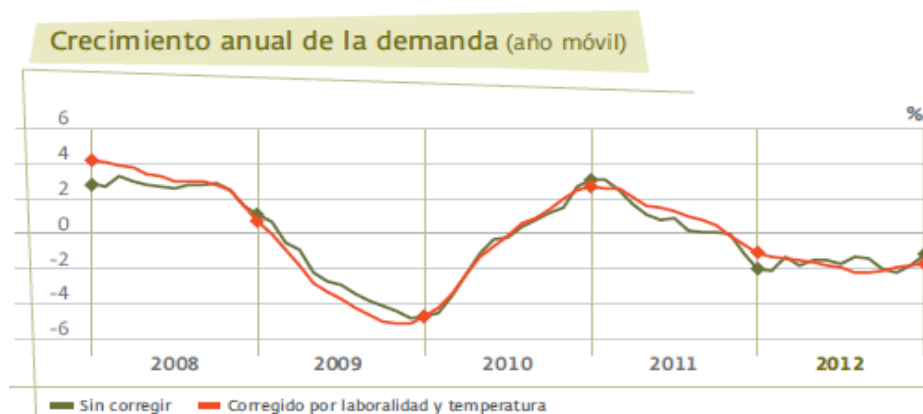
Tabla 1: Evolución de la demanda eléctrica en el Sistema Eléctrico Español (REE)

Evolución de la demanda			
Año	GWh	Δ Anual (%)	Δ Anual corregido ^(*) (%)
2008	265.206	1,1	0,7
2009	252.660	-4,7	-4,7
2010	260.530	3,1	2,7
2011	255.373	-2,0	-1,1
2012	252.191	-1,2	-1,7

(*) Por los efectos de laboralidad y temperatura.

A continuación, se puede observar un gráfico del sistema eléctrico español en el que se aprecia el desarrollo de este consumo eléctrico a lo largo de los últimos 5 años, comparándolo con el valor corregido por la temporalidad y la laboralidad.

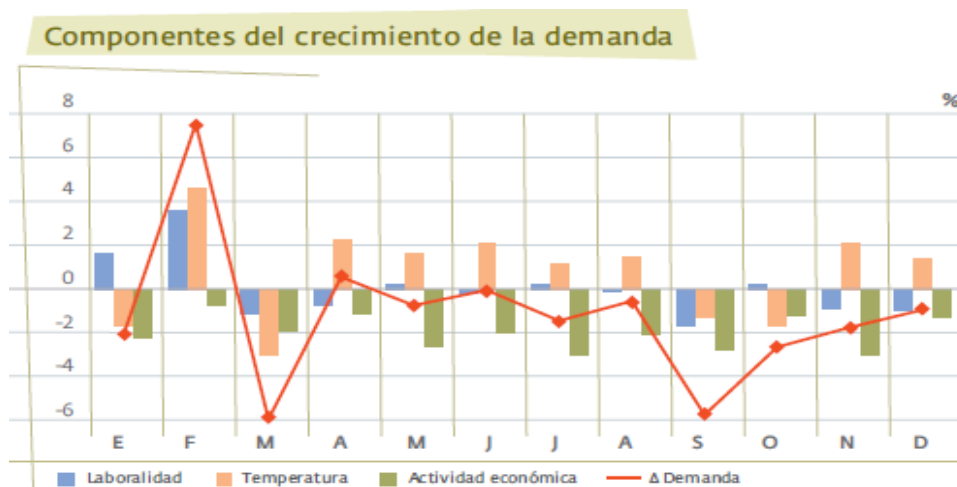
Figura 1: Evolución de la demanda eléctrica en el Sistema Eléctrico Español (REE)



Como se puede apreciar a continuación en la figura 1, la demanda de energía eléctrica en España depende de múltiples valores, como pueden ser: La laboralidad, la temperatura y la actividad económica, siendo estas variables directamente proporcionales al consumo de energía eléctrica.

Como consecuencia del descenso de la actividad económica durante todo el 2012 en nuestro país se produce un descenso de la demanda eléctrica en el último año.

Figura 2: Condicionantes de la demanda eléctrica en el Sistema Eléctrico Español (REE)



3.2.3. – Generación del régimen ordinario y régimen especial.

Como se ha comentado anteriormente en la introducción, la generación de la energía eléctrica necesaria en España se realiza a través de dos grupos diferentes de generadores. Los pertenecientes al régimen especial y los pertenecientes al régimen ordinario:

3.2.3.1.- Régimen Especial: Es aquel que emplea el tratamiento de residuos, biomasa, hidráulica, eólica, solar y cogeneración para la obtención de la energía eléctrica.

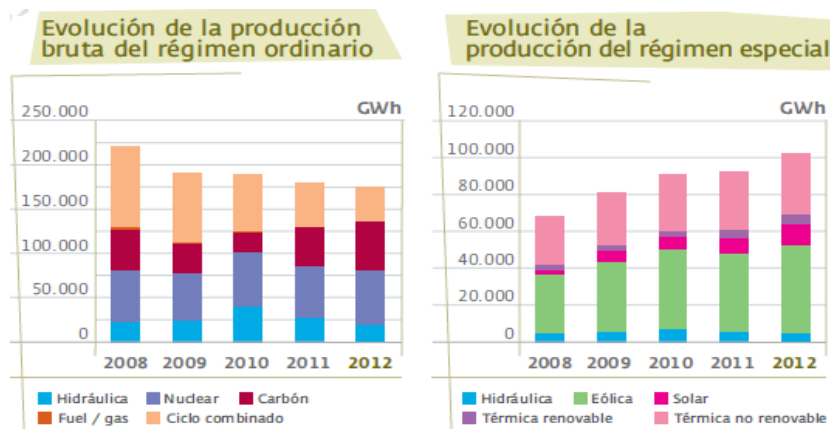
Además, debe cumplir que la potencia instalada no supere los 50 MW, a partir de cogeneración u otras formas de producción de electricidad asociadas a actividades no eléctricas, siempre que supongan un alto rendimiento energético, o en grupos donde se utilicen como fuente de energía primaria alguna de las energías renovables no consumibles, biomasa o cualquier tipo de biocarburante, o residuos no renovables o procedentes de los sectores agrícola, ganadero y de servicios, con una potencia instalada igual o inferior a 25 MW, cuando supongan un alto rendimiento energético. La producción en régimen especial está acogida a un régimen económico singular.

Además, disponen de ayudas del gobierno que les permiten ser competitivas frente a otras tecnologías hasta que su desarrollo técnico se optimice al aumentar su demanda.

3.2.3.2.- Régimen Ordinario: Comprende todas aquellas tecnologías que no incluye el régimen especial. Abarcando las centrales de ciclo combinado, de carbón y nucleares, siendo las nucleares y las de carbón las que más peso están teniendo en los últimos años como se podrá observar a continuación en la figura 3.

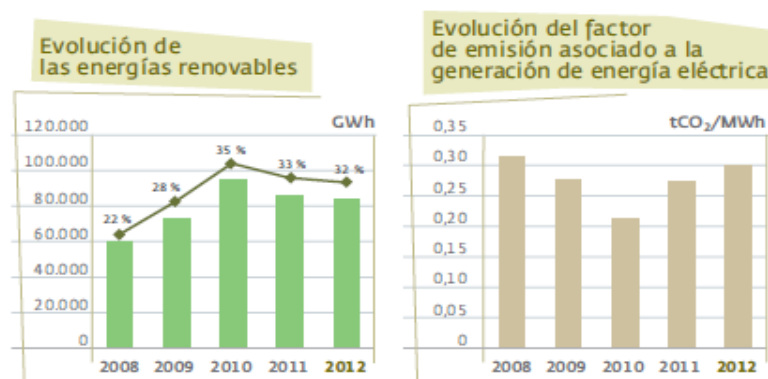
Además, como se puede ver en el siguiente gráfico, en los últimos años se está produciendo una reducción en la producción bruta del régimen ordinario, mientras que en el régimen especial se está produciendo un aumento.

Figura 3: Evolución de la generación eléctrica en el Sistema Eléctrico Español (REE)



A pesar de la reducción significativa de la potencia aportada por las tecnologías pertenecientes al régimen ordinario, en detrimento de la potencia perteneciente al régimen especial, la cantidad de emisiones de CO₂ y de gases de efecto invernadero han aumentado, como se puede observar en la figura 4.

Figura 4: Evolución de la generación eléctrica en el Sistema Eléctrico Español (REE)



Esto es debido al aumento sustancial de la aportación de energía eléctrica perteneciente a las centrales de carbón. Estas, están formadas en la actualidad por centrales más eficientes y que emiten menos gases de efecto invernadero, pero el aumento que ha sufrido la producción de estas centrales se ha producido como consecuencia del bajo coste del carbón, concretamente el carbón importado, el cual es además de mayor calidad que el español.

3.2.4.- Operación del sistema.

La operación del sistema eléctrico es imprescindible para el correcto funcionamiento del mismo, debido a que la energía eléctrica no se puede almacenar en grandes cantidades. Por ello, en todo momento, su producción debe igualarse a su consumo de forma precisa e instantánea lo que requiere su equilibrio constante.

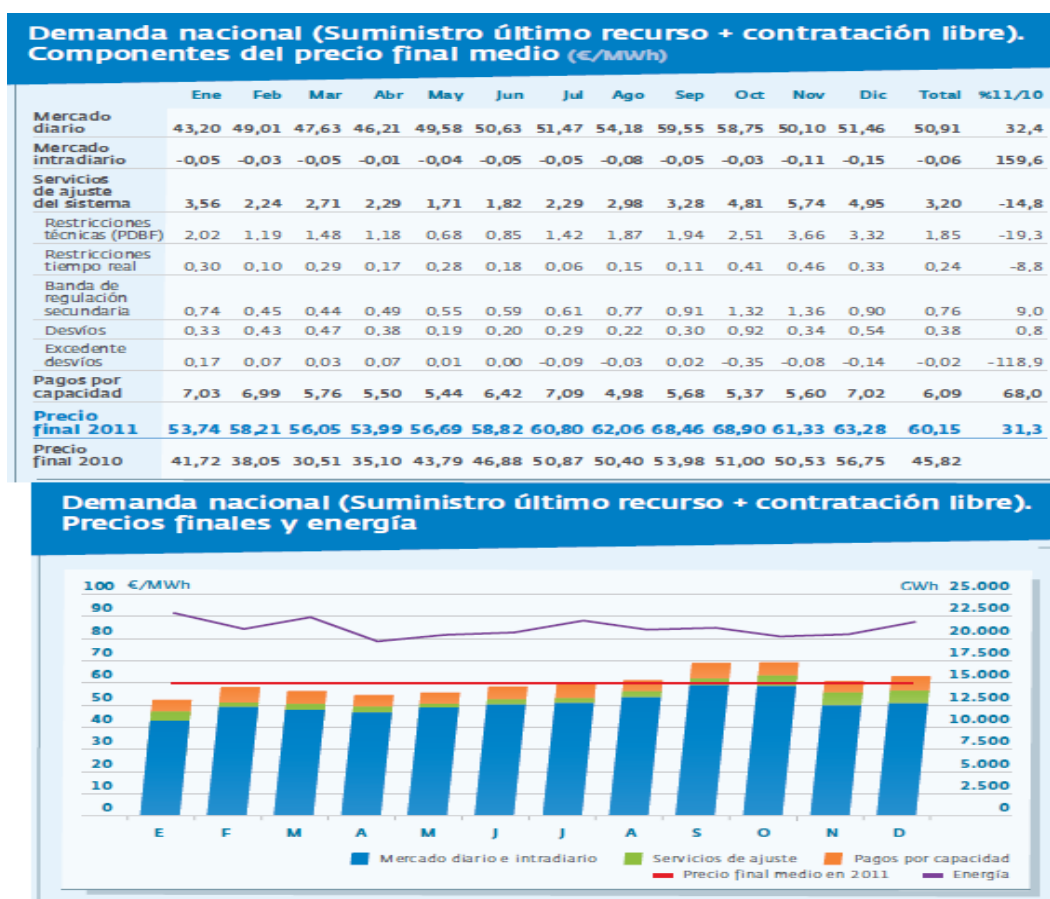
Trabajo Fin de Grado: Memoria

En España, tanto en la península como en los archipiélagos, la función de la operación del sistema la realiza Red Eléctrica, la cual se encarga de garantizar este equilibrio. Para ello, prevé el consumo y opera y supervisa en tiempo real las instalaciones de generación y transporte, logrando que la producción programada en las centrales coincida en todo momento con la demanda real de los consumidores. En el caso de que difiera, envía las órdenes oportunas a las centrales para que ajusten sus producciones aumentando o disminuyendo la generación de energía.

Red Eléctrica, elabora anualmente las previsiones de evolución de la demanda eléctrica a medio y largo plazo, así como de su cobertura. Estas previsiones son fundamentales para la elaboración de los planes de desarrollo de la red de transporte para los próximos años, aprobados por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

A continuación, en la tabla 5, se puede observar el estudio del año 2011. Donde se detallan las diferentes aportaciones que suponen el mercado diario, el mercado intradiario, los servicios de ajuste y los pagos por capacidad al precio de la electricidad.

Figura 5: Componentes del precio final de la electricidad del Sistema Eléctrico Español (REE)



En la figura 5 se puede ver que el pago por capacidad es el sobrecoste de operación que más predomina en el sistema eléctrico español, siendo los servicios de ajuste menos influyentes, aunque ambos costes se equiparan en los meses finales del año.

Trabajo Fin de Grado: Memoria

También es importante señalar que el mercado intradiario siempre tiende a reducir el coste de la electricidad (aunque en muy poca magnitud).

Estos datos reflejados en la tabla se pueden observar en el gráfico xx, donde se puede apreciar también la cantidad de energía eléctrica consumida en cada uno de los meses de 2011.

3.2.5. – Red de transporte y distribución.

El transporte de la energía eléctrica desde los centros de generación hasta los centros de consumo se realiza a través de dos tipos de redes eléctricas. Estas redes eléctricas se diferencian entre sí por la cantidad de potencia que transmiten y por la tensión asignada que las caracterizan. Además, dependiendo de esta tensión asignada se pueden clasificar en redes de transporte o distribución y son gestionadas por diferentes empresas.

Esta clasificación se puede realizar de dos formas dependiendo del criterio seguido:

- **Desde un punto de vista regulatorio:**

Instalaciones de transporte primario	Tensión nominal: 400 kV
Instalaciones de transporte secundario	Tensión nominal: 220 kV
Instalaciones de distribución	Tensión nominal: ≤ 132 kV

- **Desde un punto de vista reglamentario:**

Instalaciones de Alta Tensión ²	Primera categoría	Tensión nominal: 400, 220 y 132 kV
	Segunda categoría	Tensión nominal: ≤ 66 kV y superior a 30 kV
	Tercera categoría	Tensión nominal: ≤ 30 kV y superior a 1 kV
Líneas de Alta Tensión ³	Categoría especial	Tensión nominal: 400 y 220 kV
	Primera categoría	Tensión nominal: 132 kV
	Segunda categoría	Tensión nominal: ≤ 66 kV y superior a 30 kV
	Tercera categoría	Tensión nominal: ≤ 30 kV y superior a 1 kV
Instalaciones y Líneas de Baja Tensión ⁴		Tensión nominal: ≤ 1 kV (c.a.)

Red Eléctrica transporta la energía eléctrica en muy alta tensión. Para ello, gestiona las infraestructuras eléctricas que componen la red de transporte y conectan las centrales de generación con los puntos de distribución a los consumidores.

Su condición de operador único de la red de transporte además se definió en la Ley 17/2007, de 4 de julio, confirmó la condición de Red Eléctrica como **gestor de la red de transporte** y le atribuyó la función de **transportista único, en régimen de exclusividad**.

Trabajo Fin de Grado: Memoria

Tabla 2: Kilómetros y posiciones de línea eléctrica del Sistema Eléctrico Español (REE)

Tensión Asignada	2011		2012	
	Km circuito	Número de Posiciones	Km circuito	Número de Posiciones
400 kV	19671	1253	20104	1319
220 kV	18412	18836	2819	2941
150-132-110 kV	295	52	295	52
<132 kV	1991	741	1994	741

Además, la red de transporte está compuesta por más de 41200 kilómetros de líneas de alta tensión, más de 5.000 posiciones de subestaciones y más de 78.000 MVA de capacidad de transformación. **Estos activos configuran una red mallada, fiable y segura, que ofrece unos índices de calidad de servicio de máximo nivel al sistema eléctrico.**

3.2.6. – Comercialización.

El sistema eléctrico español divide su gestión en dos empresas dependiendo de los aspectos que tienen que controlar. En este sentido, de la comercialización de la energía eléctrica se encarga el OMEL (Operador del Mercado de Electricidad), el cual define al mercado eléctrico como “el conjunto de transacciones derivadas de la participación de los agentes del mercado en las sesiones de los mercados diario e intradiario y de la aplicación de los Procedimientos de Operación Técnica del sistema”. De modo que los generadores ofertan la electricidad que van a producir al día siguiente, y las empresas compran esa electricidad. De esta forma se iguala la generación a la demanda, pues sólo producirán electricidad los generadores que hayan conseguido un comprador para su producción.

Este mercado es denominado “pool”, que es donde los generadores y consumidores lanzan sus ofertas. En el “pool” intervienen una serie de participantes, los llamados “agentes de mercado”. También existen los llamados “agentes externos”, que son las empresas o consumidores extranjeros que pueden comprar o vender electricidad a través de las conexiones internacionales.

Cada día, OMEL opera la subasta para las 24 horas del día siguiente, entrando en primer lugar aquellas energías más baratas, seguidas de los distintos sistemas de producción hasta que se cubre la demanda proyectada. Por otra parte, los consumidores lanzan ofertas al mismo mercado, ofreciendo un precio por la energía que van a producir. Los productores y consumidores pueden hacer estas ofertas divididas en 25 tramos en cada hora y el resto de producción en tramos crecientes.

En primer lugar acceden las nucleares, ya que al poseer una gran inercia térmica los parones y arranques serían muy costosos, por tanto les sale rentable perder dinero en algunas horas, para luego compensarlo con la venta de energía en otros tramos horarios (se caracterizan por ser una fuente de energía poco flexible).

Las siguientes en ofertar energía eléctrica son las energías renovables por normativa legal que promueve su desarrollo. Un ejemplo de éstas son los parques eólicos, porque sus costes variables son prácticamente nulos (no necesitan combustible) y por tanto

siempre les es rentable vender energía. Las energías renovables de este modo, aunque tienen asegurado un precio regulado o una prima también están obligadas a pasar por el mercado, y no marcan precio en el pool, produciendo el efecto de abaratar la subasta. Ambas fuentes energéticas, nucleares y renovables se ofrecen en el mercado a precio cero por los productores (es el modo de otorgarles prioridad).

Les siguen en función de la demanda las energías más caras, el gas y el carbón. Así, la última en cubrir la demanda proyectada marca el *precio marginal* de la energía de ese día concreto, por lo que todas las demás fuentes son retribuidas también a este precio. Este precio marginal es fijado por el punto de intersección, que es la comparación entre las ofertas de venta de los productores y las ofertas de compra de los consumidores. De esta manera, éste será el precio que recibirán todos los generadores que han casado sus ofertas de venta. Este sistema tiene una peculiaridad, que todos los generadores cobran al precio marginal, que es el precio más alto de la casación.

Una vez calculada la primera casación, se añaden los contratos bilaterales (contratos suscritos entre un productor directamente con un consumidor, sin pasar por el mercado). Entonces hay que evaluar la viabilidad del programa, teniendo en cuenta las capacidades de las líneas de transporte, las conexiones internacionales, y otros condicionantes. Después de un proceso de iteraciones se obtiene el “Programa Diario Viable Definitivo”, que es el programa completo de generación, consumo y transporte del día siguiente.

Debido a que este programa no se cumple con exactitud, aparecen los desvíos (diferencias entre la generación y consumos previstos). Para solventar este problema existe el mercado intradiario, que divide el día en seis sesiones de cuatro horas, donde los participantes pueden lanzar ofertas de venta y de compra, y en cada una de ellas se produce una nueva casación. Tras cada una de éstas, se estudia nuevamente las restricciones técnicas del sistema, hasta alcanzar un nuevo programa, que es el programa horario final.

Sin embargo, todo esto aún no garantiza la igualdad entre producción y consumo. Para contrarrestar esto existen las bandas de regulación secundaria y terciaria. Las instalaciones participantes en estas regulaciones no participan en el mercado, y reciben una fuerte compensación por disponibilidad. Al final, el último programa es el “Programa Horario Operativo”, y este es el que establece lo que se genera en cada instalación.

3.2.7. – Calidad de Servicio.

La calidad de servicio es gestionada por Red Eléctrica de España, cuyas funciones como gestor de la red de transporte consisten en desarrollar y ampliar las instalaciones de la red, realizar su mantenimiento y mejora bajo criterios homogéneos y coherentes, y gestionar el tránsito de electricidad entre sistemas exteriores que requiera el uso del sistema eléctrico español.

Red Eléctrica permite el acceso de terceros a la red. Como operador del sistema eléctrico español, Red Eléctrica tiene como objetivo asegurar la continuidad y seguridad del suministro y coordinar adecuadamente el conjunto generación - transporte.

3.3.- Agentes del mercado.

Los agentes del mercado son aquellas empresas habilitadas para actuar en el mercado de producción como vendedores y compradores de energía eléctrica. Pueden actuar como agentes del mercado los productores, comercializadores de último recurso y comercializadores de electricidad así como los consumidores directos de energía eléctrica y las empresas o consumidores, residentes en otros países externos al Mercado Ibérico, que tengan la habilitación de comercializadores.

Además, los productores y los consumidores directos pueden acudir al mercado como agentes del mercado o celebrar contratos bilaterales físicos.

3.3.1.- Operadores: Sistema y Mercado

Como se ha comentado en los puntos [3.2.6](#) y [3.2.7](#) de la operación del mercado eléctrico español se encargan dos empresas independientes. OMIE se encarga de la gestión económica del sistema mientras que REE es la responsable de la gestión técnica del mismo.

Las funciones de cada uno de ellos es:

- **Operador del Mercado:**

- Controlar el funcionamiento de los mercados
- Supervisar las Reglas del Mercado y los Contrato de Adhesión
- Informar a los agentes del mercado
- Información a terceros y publicar resultados
- Mantener los principios de independencia, transparencia y objetividad:

- **Operador del Sistema:**

- Garantizar la continuidad y seguridad del suministro eléctrico.
- Coordinar el sistema de producción y transporte.
- Gestionar la red de transporte.
- Garantizar el desarrollo y ampliación de las instalaciones.

3.3.2.- Mercado eléctrico diario.

Forma parte del mercado de producción de energía eléctrica, tiene por objeto llevar a cabo las transacciones de energía eléctrica para el día siguiente mediante la presentación de ofertas de venta y adquisición de energía eléctrica por parte de los agentes del mercado.

3.3.2.1.- Funcionamiento

Su estructura de funcionamiento se divide en 3 partes:

Unidades de oferta

Durante este proceso, los vendedores del mercado de producción de energía eléctrica están obligados a seguir las Reglas de Funcionamiento del Mercado de Producción de Energía Eléctrica.

Las ofertas de estos vendedores se presentarán al operador del mercado (OMIE), y serán incluidas en un proceso de casación. Durante este período de casación se tienen en cuenta los efectos para el horizonte diario de programación, correspondiente al día siguiente del día del cierre de la recepción de ofertas para la sesión y que comprende 24 períodos horarios de programación consecutivos (23 o 25 en los días en los que se produzca cambio de hora).

Presentación de ofertas

Las ofertas de venta y compra podrán realizarse considerando de 1 a 25 tramos en cada hora, en cada uno de los cuales se oferta energía y precio de la misma, siendo creciente el precio en cada tramo en el caso de las ventas, y decreciente en el caso de las compras.

En el mercado diario se integran las posiciones abiertas del mercado a plazo celebrado por el Operador del Mercado Ibérico de Energía mediante la presentación de ofertas de adquisición o venta. Se integran las subastas de emisiones primarias de energía por la parte que acude al mercado diario para vender o comprar la energía comprometida de dichas subastas; y también se integran las subastas de distribución por la parte de los productores que acuden al mercado diario para adquirir la energía para cumplir los compromisos de los contratos derivados de dichas subastas.

Proceso de casación de ofertas

El operador del mercado realizará la casación de las ofertas económicas de compra y venta de energía eléctrica (recibidas antes de las 10:00 horas del día), por medio del método de casación simple o compleja, según concurren ofertas simples o que existan ofertas que incorporen condiciones complejas.

El método de casación simple es aquél que obtiene de manera independiente el precio marginal, así como el volumen de energía eléctrica que se acepta para cada unidad de producción y adquisición para cada periodo horario de programación.

El método de casación compleja obtiene el resultado de la casación a partir del método de casación simple, al que se añaden las condiciones de indivisibilidad y gradiente de carga, obteniéndose la casación simple condicionada. Mediante un proceso iterativo se ejecutan varias casaciones simples condicionadas hasta que todas las unidades de oferta casadas cumplen la condición de ingresos mínimos así como de parada programada, siendo esta solución la primera solución final provisional, obtenida considerando una capacidad ilimitada en las interconexiones internacionales.

El precio en cada período horario será igual al precio del último tramo de la oferta de venta de la última unidad de producción cuya aceptación haya sido necesaria para atender la demanda que haya resultado casa, en caso de no existir separación de mercados.

3.4.- Mercado eléctrico intradiario.

El mercado intradiario, regulado en el artículo 15 del Real Decreto 2019/1997 como parte integrante del mercado de producción de energía eléctrica, tiene por objeto atender, mediante la presentación de ofertas de venta y adquisición de energía eléctrica por parte de los agentes del mercado, los ajustes sobre el Programa Diario Viable Definitivo.

El mercado intradiario se estructura actualmente en seis sesiones con la siguiente distribución de horarios por sesión:

Tabla 3: Horarios de apertura y cierre de la sesión del mercado intradiario

	SESION 1º	SESION 2ª	SESION 3ª	SESION 4ª	SESION 5ª	SESION 6ª
Apertura de Sesión	16:00	21:00	01:00	04:00	08:00	12:00
Cierre de Sesión	17:45	21:45	01:45	04:45	08:45	12:45
Casación	18:30	22:30	02:30	05:30	09:30	13:30
Recepción de desagregaciones de programa	19:00	23:00	02:45	05:45	09:45	13:45
Análisis de Restricciones	19:10	23:10	03:10	06:10	10:10	14:10
Análisis de Restricciones	19:20	23:20	03:20	06:20	10:20	14:20
Horizonte de Programación (Periodos horarios)	28 horas (21-24)	24 horas (1-24)	20 horas (5-24)	17 horas (8-24)	13 horas (12-24)	9 horas (16-24)

Los horarios son los establecidos en las Reglas de Funcionamiento del Mercado. Los que figuran en la tabla adjunta son los horarios límite posibles.

Por cada unidad de producción o adquisición se podrán presentar múltiples ofertas de compra o venta. Estos procedimientos se explican a continuación:

Ofertas de venta

Podrán presentar ofertas de venta de energía eléctrica:

- Todos los agentes habilitados para presentar ofertas de venta de energía eléctrica en el mercado diario y que hubieran participado en la sesión del mercado diario correspondiente o ejecutado un contrato bilateral.
- Aquellos agentes que no hubieran participado por estar indisponibles y quedaran posteriormente disponibles
- Los agentes, que hubieran participado en la sesión del mercado diario correspondiente sobre la que se abra sesión de mercado intradiario, o ejecutado un contrato bilateral físico. Estos agentes sólo podrán participar en el mercado intradiario para los períodos horarios de programación que se correspondan con los incluidos en la sesión de mercado diario en la que participaron o no lo hicieron por estar indisponibles.

Las ofertas de venta de energía eléctrica que los vendedores en el mercado intradiario presentan al operador del mercado pueden ser simples o incluir condiciones complejas en razón de su contenido.

Trabajo Fin de Grado: Memoria

Las ofertas simples son ofertas económicas de venta de energía, de 1 a 5 tramos, que los vendedores presentan para cada periodo horario y unidad de venta o de adquisición de la que sean titulares. Estas ofertas simples expresan un precio y una cantidad de energía, siendo el precio creciente en cada tramo.

Ofertas de adquisición

Podrán presentar ofertas de adquisición de energía eléctrica en el mercado intradiario:

-Todos los agentes habilitados para presentar ofertas de venta de energía eléctrica en el mercado diario y que hubieran participado en la sesión del mercado diario correspondiente o ejecutado un contrato bilateral.

-Aquellos que no hubieran participado por estar indisponibles y quedaran posteriormente disponible.

-Los agentes, de entre los habilitados para presentar ofertas de adquisición en el mercado diario que hubieran participado en la sesión del mercado diario correspondiente sobre la que se abra sesión de mercado intradiario, o ejecutado un contrato bilateral.

Tanto las ofertas de venta como de adquisición que incluyen condiciones complejas son aquellas que, cumpliendo con los requisitos exigidos para las ofertas simples, incorporan todas, algunas o alguna de las condiciones complejas siguientes:

- Gradiente de carga.
- Ingresos mínimos.
- Aceptación completa en la casación del tramo primero de la oferta de venta.
- Aceptación completa en cada hora en la casación del tramo primero de la oferta de venta.
- Condición de mínimo número de horas consecutivas de aceptación completa del tramo primero de la oferta de venta.
- Energía máxima.

Las condiciones de gradiente de carga e ingresos mínimos son las mismas que las descritas en el mercado diario.

Los citados agentes sólo podrán participar respecto de los periodos horarios de programación, comprendidos en la sesión del mercado intradiario, que se correspondan con los incluidos en la sesión de mercado diario en la que participaron o no lo hicieron por estar indisponibles.

Procesos de casación y resultados

El operador del mercado realizará la casación de las ofertas de compra y venta de energía eléctrica, por medio del método de casación simple o compleja, según concurren ofertas simples o que incorporen condiciones complejas.

Mediante un proceso iterativo se obtiene la primera solución final definitiva que respeta la capacidad máxima de interconexión internacional con los sistemas eléctricos externos al Mercado Ibérico.

En caso de congestión interna en el Mercado Ibérico (congestión en la interconexión entre los sistemas eléctricos español y portugués) se repite el proceso descrito previamente realizándose una separación de mercados (Market Splitting) que obtiene un precio en cada zona del Mercado Ibérico, sin congestión interna entre ambos sistemas eléctricos.

El precio en cada periodo horario de programación será igual al precio del último tramo de la oferta de venta de la última unidad de venta o adquisición cuya aceptación haya sido necesaria para atender total o parcialmente las ofertas de adquisición a un precio igual o superior al precio marginal, en caso de no existir separación de mercados. En caso de existir separación de mercados, el precio del país exportador se establecerá como el precio de la última oferta casada de venta de las localizadas en su zona, y el precio del país importador se establecerá como el máximo de los precios obtenidos en las dos casaciones correspondientes a ambas zonas.

3.5.- Mercado de los servicios de ajuste

Los mercados de servicios de ajuste gestionados por el Operador del Sistema tienen por finalidad adaptar, cuando así sea necesario, los programas de producción resultantes de las distintas plataformas de contratación de energía, para garantizar el cumplimiento de las condiciones de seguridad y calidad requeridas para el suministro de energía eléctrica. Los servicios de ajuste del sistema permiten disponer también de las reservas de potencia activa y reactiva necesarias para asegurar la seguridad y la fiabilidad requeridas para la adecuada operación del sistema eléctrico.

Los servicios de ajuste comprenden la resolución de restricciones por garantía de suministro y por restricciones técnicas del sistema, los servicios complementarios y la gestión de desvíos:

- **La resolución de las restricciones por garantía de suministro**, asegurando la producción necesaria de energía con centrales que utilizan fuentes de energía autóctonas.
- **La resolución de las restricciones técnicas** identificadas en los programas resultantes de la contratación bilateral física y los mercados de producción (diario e intradiario), así como todas aquellas restricciones técnicas que pudieran presentarse durante la propia operación en tiempo real.
- **Los servicios complementarios:**

Trabajo Fin de Grado: Memoria

Son aquellos servicios necesarios para asegurar el suministro de energía eléctrica en las condiciones de seguridad, calidad y fiabilidad requeridas, que se encuentran establecidos en los Procedimientos de Operación:

a) Reserva de potencia adicional a subir.

El objetivo de este servicio de ajuste del sistema es la contratación y gestión de la reserva de potencia a subir requerida para la operación del sistema, de forma adicional a la disponible en el programa diario viable provisional (PDVP) para garantizar la seguridad del sistema eléctrico peninsular español.

b) Asociados a la regulación frecuencia-potencia (regulación primaria, secundaria y terciaria).

- **Primaria:** Es un servicio complementario de carácter obligatorio y no retribuido de forma explícita. Tiene por objeto la corrección automática de los desequilibrios instantáneos que se producen entre la generación y el consumo. La regulación primaria es aportada por los reguladores de velocidad con los que están equipados los grupos generadores. Su horizonte temporal de actuación alcanza hasta los 30 segundos.

- **Secundaria:** El servicio de regulación secundaria es un servicio complementario de carácter potestativo gestionado mediante mecanismos competitivos de mercado y que tiene por objeto el mantenimiento del equilibrio generación-consumo. Su horizonte temporal se extiende desde los 30 segundos hasta los 15 minutos. La prestación de este servicio se realiza mediante zonas de regulación.

- **Terciaria:** La reserva de regulación terciaria se define como la variación máxima de potencia que puede efectuar una unidad de producción o de consumo de bombeo en un tiempo no superior a 15 minutos, y que puede ser mantenida durante, al menos, 2 horas consecutivas. Además, tiene por objeto la restitución de la reserva de regulación secundaria que haya sido utilizada y el ajuste del equilibrio generación-demanda en periodos inferiores o iguales a la hora.

c) Control de tensión de la red de transporte.

Tiene por objeto garantizar el adecuado control de la tensión en los nudos de la red de transporte, de forma que la operación del sistema se realice en las condiciones de seguridad y fiabilidad requeridas, el suministro de energía a los consumidores finales se efectúe con los niveles de calidad exigibles y las unidades de producción puedan funcionar en las condiciones establecidas para su operación normal. Son proveedores de este servicio complementario los grupos generadores de potencia neta no inferior a 30 MW.

d) Reposición del servicio.

El proceso de gestión de los desvíos entre generación y consumo como medio imprescindible para garantizar el equilibrio entre la producción y la demanda, habiendo asegurado previamente la disponibilidad en todo momento de las reservas de regulación requeridas.

3.6. Períodos tarifarios

El Sistema Tarifario que rige en la actualidad fue establecido mediante resolución 137/92 de la Secretaría de Energía. Este Sistema establece para los Generadores, un pago por la potencia

Trabajo Fin de Grado: Memoria

puesta a disposición y otro por la energía generada, con precios particulares según el Nodo de la red de transmisión donde se encuentran conectados. El esquema tarifario se fundamenta en la teoría marginalista, y su cálculo se efectúa a partir del empleo de modelos de optimización y simulación de la operación (Oscar y Margo). El modelo Oscar simula la operación del sistema con un horizonte de tres años. El Margo efectúa la optimización de la operación del sistema esquematizado como regiones, insertando la representación del sistema de transmisión. En el esquema tarifario se consideran conceptos tales como:

- **Costo marginal de generación:** Se relaciona con el costo de la máquina térmica más cara es necesaria activar para cubrir las necesidades en cada momento, con excepción de las que están obligadas a generar por limitaciones de operación.
- **Costo de la potencia disponible:** Se asocia con un reconocimiento de los costos fijos de operación para cubrir la demanda más un margen de reserva.
- **Costo por riesgo de falla de suministro:** Se asocia con el precio que estarían dispuestos a abonar los consumidores por evitar cortes.
- **Costos de transporte de energía:** Abarca las pérdidas y las condiciones de confiabilidad de sistema de transmisión. El esquema tarifario determina un Precio de Mercado (PM) para cada momento, el cual se obtiene en el centro de carga del sistema eléctrico.

Para resolver una restricción, se selecciona la retirada de aquella oferta o del conjunto de ofertas que resuelvan las restricciones técnicas identificadas, sobre la base del orden de precedencia económica de las ofertas casadas en dicha sesión, comunicado por el Operador del Mercado (OMIE).

El equilibrio generación-demanda será restablecido nuevamente mediante la retirada por el Operador del Sistema de otras ofertas presentadas a esa misma sesión del mercado intradiario, conforme al orden de precedencia económica de las ofertas asignadas, y sin provocar nuevas restricciones técnicas.

Como resultado de este proceso se publica el programa horario final (PHF), que contiene las modificaciones realizadas, en su caso, en el proceso de solución de restricciones técnicas tras el mercado intradiario, y los correspondientes mensajes con las limitaciones de programa que han de ser respetadas en los siguientes mercados.

Tabla 4: Períodos tarifarios de Sistema Eléctrico Español

Periodo Tarifario	Tipo de Día			
	Tipo A	Tipo B	Tipo C	Tipo D
1	De 16 a 22 h			
2	De 8 a 16 h y De 22 a 24			
3		De 9 a 15 h		
4		De 8 a 9 h y De 15 a 24		
5			De 8 a 24 h	
6	De 0 a 8 h	De 0 a 8 h	De 0 a 8 h	De 0 a 24 h

De esta tabla se deben explicar los diferentes tipos de días y cuando son las temporadas alta media y baja:

- **Los días de tipo A,** son de lunes a viernes no festivos de temporada alta.

Trabajo Fin de Grado: Memoria

- **Los días de tipo B**, son de lunes a viernes no festivos de temporada media.
- **Los días de tipo C**, son de lunes a viernes no festivos de temporada baja, excepto agosto en el sistema peninsular y el mes correspondiente de mínima demanda en cada uno de los sistemas aislados extrapeninsulares. Dicho mes se fijará por la Dirección General de Política Energética y Minas).
- **Los días de tipo D**, Son los sábados, domingos y festivos y el mes de agosto en el sistema peninsular y el mes de menor demanda en cada uno de los sistemas aislados extrapeninsulares. Dicho mes se fijará por la Dirección General de Política Energética y Minas).

Las temporadas alta, media y baja serán para el Sistema Eléctrico Peninsular:

- **Temporada alta**: Meses de noviembre, diciembre, enero y febrero.
- **Temporada media**: Meses de marzo, abril, julio y octubre.
- **Temporada baja**: Meses de mayo, junio, agosto y septiembre.

4.- Procedimientos de operación del operador del sistema (REE).

4.1.- Procedimientos de operación para los servicios de ajuste con posible participación de la demanda industrial.

Los procedimientos de operación son formas de intervenir que tiene el Operador del Sistema eléctrico Español para solucionar aquellos problemas que puedan afectar al suministro, calidad o continuidad de la energía eléctrica.

4.1.1.- Introducción

Los procedimientos de operación relacionados con servicios de ajuste del sistema eléctrico español comprenden:

- **La resolución de las restricciones por garantía de suministro:** Son los que aseguran la producción necesaria de energía con centrales que utilizan fuentes de energía autóctonas.
- **La resolución de las restricciones técnicas:** Son identificadas en los programas resultantes de la contratación bilateral física y los mercados de producción (diario e intradiario), así como todas aquellas restricciones técnicas que pudieran presentarse durante la propia operación en tiempo real.
- **Los servicios complementarios:** Son aquellos servicios necesarios para asegurar el suministro de energía eléctrica en las condiciones de seguridad, calidad y fiabilidad requeridas, que se encuentran establecidos en los Procedimientos de Operación:
 - **Reserva de potencia adicional a subir,** cuyo objetivo de es la contratación y gestión de la reserva de potencia a subir requerida para la operación del sistema, de forma adicional a la disponible en el programa diario viable provisional (PDVP) para garantizar la seguridad del sistema eléctrico peninsular español.
 - **Asociados a la regulación frecuencia-potencia** (regulación primaria, secundaria y terciaria).
 - **Primaria:** Es un servicio complementario de carácter obligatorio y no retribuido de forma explícita. Tiene por objeto la corrección automática de los desequilibrios instantáneos que se producen entre la generación y el consumo. Es aportada por los generadores, ya que su horizonte temporal de actuación es muy reducido, unos 30 segundos.
 - **Secundaria:** Es un servicio complementario de carácter potestativo gestionado mediante mecanismos competitivos de mercado y que tiene por objeto el mantenimiento del equilibrio generación-consumo. Su horizonte temporal es mayor que el de la regulación primaria, ya que se extiende desde los 30 segundos hasta los 15 minutos.

Trabajo Fin de Grado: Memoria

- **Terciaria:** Se define como la variación máxima de potencia que puede efectuar una unidad de producción o de consumo de bombeo en un tiempo no superior a 15 minutos, y que puede ser mantenida durante, al menos, 2 horas consecutivas.
- **Control de tensión de la red de transporte,** cuyo objetivo es garantizar el adecuado control de la tensión en los nudos de la red de transporte, de forma que la operación del sistema se realice en las condiciones de seguridad y fiabilidad requeridas, el suministro de energía a los consumidores finales se efectúe con los niveles de calidad exigibles y las unidades de producción puedan funcionar en las condiciones establecidas para su operación normal.
- **Reposición del servicio,** que trata de facilitar la reposición del servicio en caso de una perturbación que provoque un corte de mercado de ámbito regional o incluso peninsular.
- **Gestión de desvíos:** Resuelve los desvíos entre generación y consumo que pudieran aparecer con posterioridad al cierre de cada sesión del mercado intradiario y hasta el inicio del horizonte de efectividad de la siguiente sesión.

Tras definir brevemente la función de cada uno de los servicios de ajuste que existen en el Sistema Eléctrico Español, se deben explicar en profundidad aquellos servicios de ajuste que sí podrían adaptarse a los sectores industriales estudiados en este proyecto fin de grado.

4.1.1.- Gestión de desvíos

Cumple la función de resolver los desvíos entre generación y consumo que ocurren desde el cierre de la sesión del mercado intradiario hasta el horizonte de efectividad de la siguiente sesión. Su función de nexo entre los mercados intradiarios y la regulación terciaria dota al Operador del Sistema de la provisión de un servicio gestionado mediante mecanismos competitivos de mercado, y de mayor flexibilidad para poder solventar estos desequilibrios sin poner en riesgo la disponibilidad de las reservas de regulación secundaria y terciaria requeridas.

Se convoca este mercado de desvíos únicamente cuando el conjunto de desvíos originados por distintas causas y las variaciones en la previsión de la producción eólica superan los 300 MW. Su sobrecoste, sin embargo, es liquidado a los agentes causantes de estos desvíos.

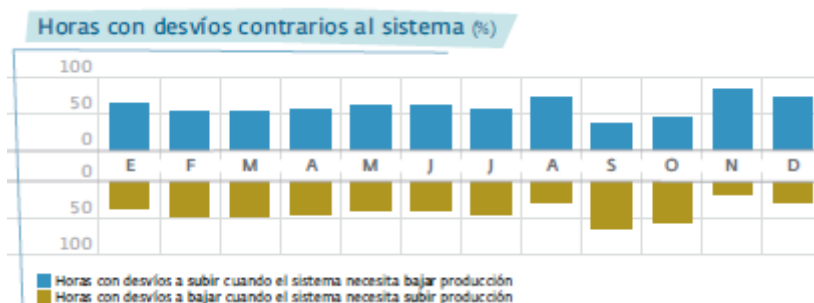
-Si Desvío neto a subir (Consumo real > Oferta): Se penaliza con un sobrecoste a los agentes encargados del lado de la demanda o de la oferta que tuvieron un desvío en la misma dirección que el sistema. En cambio, aquellos que favorecieron al sistema al desviarse en el sentido contrario que el sistema, no son penalizados.

Se debe tener en cuenta por lo tanto, la proporción de horas en las que los desvíos actúan de forma contraria al sistema (deben ser penalizados los agentes que gestionan

Trabajo Fin de Grado: Memoria

esas ofertas de generación o consumo). Siendo aproximadamente el 50% de los desvíos, como se observa en la figura 6.

Figura 6: Horas con desvíos contrarios al sistema (REE)



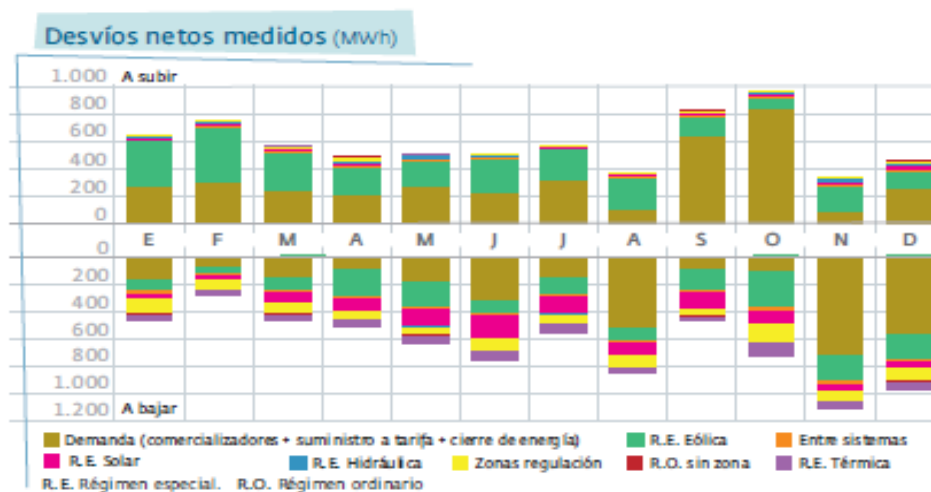
En la figura 7 se observa además, los desvíos que predominan en el Sistema Eléctrico en los diferentes meses de 2012 y el sobrecoste que suponen los mismos al precio de la electricidad.

Figura 7: Coste del desvío en relación con el precio del mercado diario (REE)



El precio de estas modificaciones de programa para la resolución de los desvíos generación-consumo se realiza al precio marginal de las ofertas asignadas en cada periodo horario, garantizando de esta forma la consideración de criterios de mínimo coste en la aplicación del servicio. Pero obviamente el hecho de que ocurran desvíos es perjudicial para el precio de la energía.

Figura 8: Principales agentes que provocan los desvíos en Sistema Eléctrico Español (REE)



Además, en la figura 8 se refleja la cantidad de energía que se gestiona a través de este servicio de ajuste. Siendo mayor el porcentaje de desvíos causados por la demanda, seguido por la eólica.

4.1.3.- Establecimiento de las reservas

4.1.3.1.- Reserva de potencia adicional a subir

Se encarga de la contratación y gestión de la reserva de potencia a subir requerida para la operación del sistema, de forma adicional a la disponible en el programa diario viable provisional (PDVP) para garantizar la seguridad del sistema eléctrico peninsular español.

El Operador del Sistema, después de conocer la comunicación del PDVP, determinará los valores del requerimiento de potencia adicional a subir.

Posteriormente a la presentación de ofertas por parte de los sujetos del mercado titulares de unidades de programación habilitadas para la provisión de este servicio, el OS procederá a la asignación de las mismas hasta cubrir el requerimiento, estableciéndose en cada hora un precio marginal para la reserva de potencia adicional a subir asignada.

Las unidades a las que se les haya asignado la provisión de reserva de potencia adicional a subir, deberán participar en las diferentes sesiones del Mercado Intradiario en función de los tiempos de arranque y de programación.

Las unidades a las que se les haya asignado la provisión de este servicio estarán obligadas a ofertar en el mercado de gestión de desvíos generación-consumo, el aumento de su programa de producción hasta el valor total de la reserva de potencia contratada y que no haya sido programada previamente.

4.1.3.2.- Control de tensión.

Tiene por objeto garantizar el adecuado control de la tensión en los nudos de la red de transporte, de forma que la operación del sistema se realice en las condiciones de seguridad y fiabilidad requeridas, el suministro de energía a los consumidores finales

se efectúe con los niveles de calidad exigibles y las unidades de producción puedan funcionar en las condiciones establecidas para su operación normal.

Son proveedores de este servicio complementario los grupos generadores de potencia neta no inferior a 30 MW y con conexión directa, o a través de línea dedicada, a nudos de la red de transporte, el transportista único y los distribuidores que, con carácter excepcional, gestionen elementos de la red de transporte, los consumidores con potencia contratada no inferior a 15 MW y conectados directamente a la red de transporte, y los gestores de las redes de distribución.

En caso de que la tensión real en el nudo de alta quede fuera del rango de consignas, un determinado generador cumplirá con la prestación del servicio siempre y cuando genere o absorba en la adecuada dirección.

4.1.3.3.- Regulación terciaria.

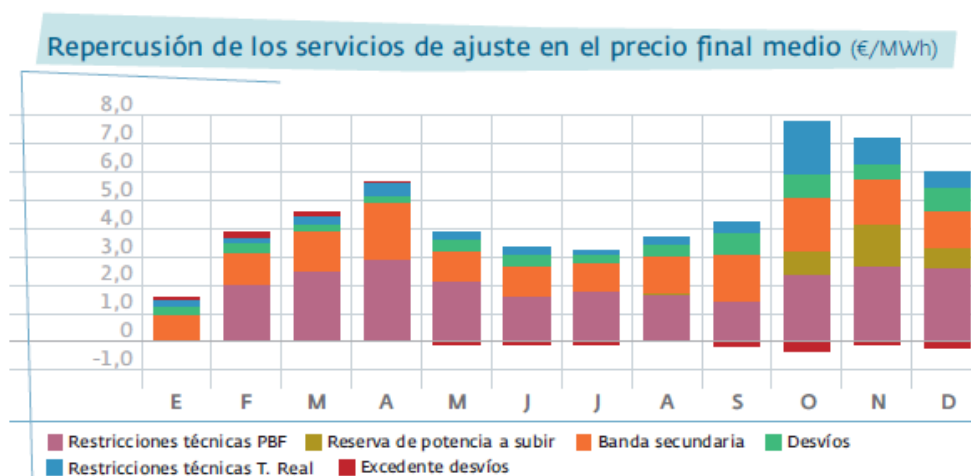
La reserva de regulación terciaria se define como la variación máxima de potencia que puede efectuar una unidad de producción o de consumo de bombeo en un tiempo no superior a 15 minutos, y que puede ser mantenida durante, al menos, 2 horas consecutivas.

La regulación terciaria tiene por objeto la restitución de la reserva de regulación secundaria que haya sido utilizada y el ajuste del equilibrio generación-demanda en periodos inferiores o iguales a la hora. Se trata de un servicio complementario de oferta obligatoria para las unidades habilitadas como proveedoras del servicio, gestionado mediante mecanismos de mercado, estando la asignación del servicio basada en criterios de mínimo coste y estableciéndose precios marginales horarios diferenciados para la reserva de regulación terciaria movilizada a subir y a bajar.

La reserva de regulación terciaria es aportada mediante la actuación manual, de subida o bajada de potencia, de las centrales de generación y/o de consumo de bombeo, respetando siempre la asignación del servicio, las posibles limitaciones de programa establecidas por razones de seguridad del sistema y las posibles indisponibilidades de instalaciones de generación y/o de consumo de bombeo comunicadas al Operador del Sistema por el sujeto titular de las mismas.

Estos servicios de ajuste explicados previamente, tienen un gran importancia sobre el precio final de electricidad en España.

Figura 9: Sobrecoste de los servicios de ajuste en el precio final medio (REE)



Como se puede observar en el gráfico XX, predomina la repercusión de las restricciones técnicas PBF por encima de los demás servicios de ajuste, siendo también importante la banda secundaria. Además es importante señalar que el excedente de desvíos provoca una bajada en los precios de la energía eléctrica, aunque mínima.

5.- Análisis de la participación de la demanda industrial en los servicios de ajuste. Situación actual en Europa

5.1.- Introducción.

La operación del sistema eléctrico en España está sufriendo importantes cambios legislativos. Estos cambios están asociados en gran parte a la incorporación cada vez más importante de la generación renovable, la cual implica superar nuevos retos para que continúe el correcto funcionamiento del Sistema Eléctrico Español en términos de firmeza, calidad y estabilidad. Estos cambios en la operación del sistema repercuten de manera importante en los servicios de ajuste del sistema eléctrico, ya que tradicionalmente en España solo la generación participa en los servicios de ajuste, salvando el consumo por bombeo en centrales hidráulicas. Es decir, a nivel nacional, la participación de la demanda en los servicios de ajuste del sistema eléctrico es nula. La demanda industrial sólo participa como proveedor del servicio de gestión de la demanda de interrumpibilidad.

En cambio, a nivel europeo la situación es diferente. En varios sistemas eléctricos como en Reino Unido, Francia y Alemania ya existen algunas prácticas que involucran a la industria y recientemente **ENTSO-E**, la Red Europea de Gestores de Redes de Transporte de Electricidad, de la que forma parte REE, está desarrollando iniciativas que buscan este objetivo.

En ENTSO-E los operadores de sistema europeos cooperan tanto a nivel regional como a escala europea. Sus actividades se centran en:

- Gestión óptima de la Red eléctrica.
- Evolucionar técnicamente la red eléctrica europea.
- Satisfacer las necesidades del mercado interior de la energía y facilitar la integración de los mercados.
- Funcionamiento fiable de la Red eléctrica.

- Garantizar la seguridad del suministro.
- Desarrollo de redes.
- Desarrollo de códigos de red.
- Promoción de actividades de I + D y la aceptación pública de la infraestructura de transmisión.

- Consulta con los interesados y posiciones frente a cuestiones de política energética.

ENTSO-E ha llevado a cabo un desarrollo de redes y de códigos de red. Acerca de estos temas ha realizado un borrador en el que se definen los requisitos funcionales comunes, así como condiciones para que la demanda pueda entrar a formar parte de una manera más activa en el sistema eléctrico. Esta presencia permitirá facilitar la integración de mayores contingentes de energías renovables, garantizando la seguridad del sistema y la realización del mercado interior de la electricidad.

5.2.- Situación actual en Europa

La situación que caracteriza a Europa, como se ha comentado en el punto 5.1, es más propicia que la que existe en España, aunque depende del país en cuestión que se analice.

5.2.1 Reino Unido (United Kingdom)

El Operador del Sistema es National Grid, el cual trata de equilibrar una gama de servicios de grandes consumidores de electricidad que son capaces de interrumpir su carga ayudando a compensar el equilibrio entre generación y consumo. Estas industrias participan en los siguientes servicios:

- **Respuesta en Frecuencia:** Ya que trata de mantener el Sistema Eléctrico a una frecuencia de 50 Hz en todo momento, variando la alteración entre la producción o el consumo de electricidad en tiempo real.
- **Regulación Primaria (Fast Reserve):** Su objetivo es cumplir con las variaciones rápidas de la demanda. Además, deberán participar en ella aquellas industrias que tenga una carga del orden de las decenas de megavatios, las cuales deben ser capaces de responder en un tiempo muy corto (unos 2 minutos).
- **Regulación Secundaria (STOR):** National Grid adquiere energía durante determinadas horas definidas del día, para hacer frente a las variaciones generales en la demanda y fallos de generación. Para poder participar, se requiere la capacidad de disminuir su consumo en un tiempo inferior a cuatro horas, manteniendo el consumo durante 2 horas.
- **Gestión de Restricciones:** Su función es aliviar las restricciones de flujo de carga. Estos están localizados en la red de transporte de alta tensión (actividad de mantenimiento de la red). Aquella demanda industrial que participe en este servicio debe ser capaz de cerrar su planificación durante un tiempo sostenido (varios días) previa planificación.

5.2.2 Francia

El Operador del Sistema es R.T.E, el cual se encarga del correcto funcionamiento de los Servicios de Ajuste en el Sistema Eléctrico Francés.

En este sistema, se permite a los distintos constituyentes (incluida la demanda industrial) intervenir en todos los tipos de transacciones comerciales. Es decir, cualquier agente puede convertirse en una **entidad responsable de equilibrio**, tras la firma de un contrato bilateral con R.T.E.

Este tipo de transacciones es tan importante que desde el año 2009 se han registrado alrededor de 150 **entidades responsables de equilibrio**, superándose las 200 notificaciones de cambio de energía diarias y suponiendo actualmente alrededor de los 300TWh de energía (lo cual representa más de la mitad de la energía consumida en Francia anualmente).

5.3.- Aspectos importantes para la posible participación de los sectores industriales a los servicios de ajuste

5.3.1.- Potencia contratada y mínimo técnico:

Estos factores dependen del tipo de sector productivo y de su potencia consumida.

- **Potencia contratada:** MW a disposición de la industria para el desarrollo de su actividad.

- **Mínimo técnico:** MW consumidos por la industria en situación de parada técnica.

Estos factores son de gran importancia porque, determinan para cada proceso productivo dentro del sector, la cantidad máxima de energía que se podría llegar a modular para adaptarse a los servicios de ajuste del Sistema Eléctrico.

Un aspecto importante de la potencia contratada es que a mayor volumen de energía a disposición del operador del sistema, mayor será la retribución y menor será el precio unitario por kWh.

5.3.2.- Tipo de consumo:

- **Consumo plano:** El consumo de energía eléctrica es prácticamente constante a lo largo del día y a lo largo de la semana.

- **Consumo modular:** El consumo de energía eléctrica se produce dependiendo del precio que tenga la energía a lo largo del día, por lo tanto habrá un mayor consumo en las horas donde la energía es más barata. Lo normal, por lo tanto, es maximizar el consumo en horas valle, y minimizarlo en las horas punta.

El tipo de consumo es determinante a la hora de analizar la posible integración de la demanda en los mercados de los servicios de ajuste del sistema.

Un sector industrial con consumo eléctrico plano presentará muchas más dificultades para poder prestar servicios de regulación, ya que consumen de forma constante y normalmente al máximo de su capacidad, por lo que no tendría interés alguno para dicho sector dejar de consumir energía en beneficio del sistema eléctrico.

Un sector industrial con consumo modular sería más indicado para poder prestar servicios de regulación. Este tipo de consumo es característico de sectores donde solo se consume energía eléctrica en alguno de sus procesos, y siempre a la máxima capacidad contratada, lo cual permite una mejor adaptación a los servicios de regulación por la capacidad de movilidad de procesos en el tiempo que poseen las industrias con este tipo de consumo.

5.3.3.- Rampas de subida y bajada de potencia.

- **Rampa de subida:** Variación positiva de la potencia con respecto al tiempo en el consumo eléctrico de un proceso industrial hasta alcanzar la situación de funcionamiento deseada (MW/min).

- **Rampa de bajada:** Variación negativa de la potencia con respecto al tiempo de un proceso industrial hasta alcanzar la situación de mínimo técnico u otra potencia deseada (MW/min).

Las rampas de subida y de bajada también son los factores que permiten o no a un proceso productivo adaptarse a los servicios de ajuste, puesto que marcan el tiempo que tardará el operador del sistema en disponer de la energía en el caso de las de bajada, y del tiempo que tardará el proceso en volver a consumir en condiciones nominales en el caso de las de subida, desde la orden de aviso.

El tiempo y las rampas, sin embargo, no son el problema fundamental para la integración de la demanda en los servicios de ajuste, puesto que todos los sectores industriales, están en la actualidad programados para trabajar con paradas de emergencia, por lo que tienen capacidad para movilizar o dejar de utilizar grandes cantidades de energía en poco tiempo y de forma

segura, sino que se debe compaginar esta capacidad de modulación de energía con la capacidad de mantener la calidad del producto fabricado en cada sector industrial.

5.3.4.- Preaviso:

Tiempo de aviso que necesitan los procesos industriales, antes de que el operador del sistema les exija la prestación del servicio.

Este tiempo va ligado a las rampas de subida o bajada de potencia, las cuales se explicaron en el punto anterior, y es un factor muy importante en la adaptación de la industria a los servicios de ajuste.

5.3.5.- Tiempo de mantenimiento de la reducción de potencia

Hace referencia al período de tiempo en el que la industria en cuestión estaría dispuesta a ceder total o parcialmente su potencia contratada en beneficio del Sistema Eléctrico.

Desde el punto de vista del Operador del Sistema, es un factor muy importante puesto que marca, junto con la **potencia contratada y el mínimo técnico**, la cantidad de energía de la que dispondrá para regular los servicios de ajuste.

5.3.6.- Reserva de potencia a subir.

Cantidad de energía que un proceso industrial podría consumir de más con respecto a las condiciones normales de funcionamiento.

Es un factor menos importante, puesto que actualmente las industrias y sus procesos están estudiados para consumir el máximo de la potencia contratada en condiciones nominales de funcionamiento, no obstante también es susceptible de estudio por parte de la industria, y si se conociera el tiempo de mantenimiento de este aumento de potencia, se marcaría la cantidad de energía que estos procesos podrían absorber en beneficio del sistema eléctrico y sus mecanismos de ajuste

Por lo tanto, todos estos factores se deben tener en cuenta para la decisión de la viabilidad técnica de los diferentes procesos de los sectores industriales que se estudian a continuación.

6.- Demanda eléctrica de los procesos productivos:

6.1.- Introducción:

Los sectores industriales que se van a describir a continuación son el del cemento, el del papel y el de la metalurgia no férrea. Dichos procesos se extienden por todo nuestro país y suponen un gran porcentaje del consumo de energía eléctrica en España.

Los procesos productivos pueden tener varias naturalezas de demanda eléctrica dependiendo de las características del proceso productivo y de las máquinas que emplea. Pueden ser sectores en los que las máquinas eléctricas suponen un porcentaje importante de la potencia instalada de la planta (alrededor del 40%), sectores en los que tienen un menor porcentaje de presencia eléctrica (alrededor del 15%-20%) y aquellos en los que la demanda eléctrica es casi inexistente.

Teniendo en cuenta esto, la capacidad de adaptación a los servicios de ajuste de estos sectores productivos depende directamente de su influencia eléctrica y de si estas máquinas eléctricas se adaptan a los requerimientos de los servicios de ajuste. Siendo capaces de modular (adaptarse a los distintos períodos tarifarios del sistema eléctrico) o siendo planos (no pueden o no es rentable hacer el esfuerzo de adaptarse a estos períodos tarifarios).

Algunos de ellos tendrán un consumo prácticamente constante durante todo el día y a lo largo de la semana (planos), mientras que otros como los modulares variarán sus consumos dependiendo del precio de la energía en cada momento del día.

Se va a comenzar analizando las fases del proceso productivo del cemento, continuando con el sector del papel y finalizando con el de la metalurgia no férrea (donde se van a analizar tres de los elementos más empleados en la actualidad).

6.2.- Sector de producción del cemento:

6.2.1.- Introducción al sector del cemento:

El sector industrial del cemento es un importante sector en España, ya que tiene un consumo anual que se encuentra alrededor de los 4 TWh en 2012. Además, se caracteriza por la posibilidad de almacenamiento que tiene en varias fases de su proceso. Esta adaptación la podemos estimar en función de la parte del proceso de fabricación que estemos analizando.

6.2.2.- Proceso productivo del cemento:

El **cemento** es un conglomerante formado a partir de una mezcla de caliza y arcilla calcinadas y posteriormente molidas, que tiene la propiedad de endurecerse al contacto con el agua. Mezclado con grava, arena y agua, crea una mezcla uniforme, maleable y plástica que fragua y se endurece, adquiriendo consistencia pétrea, es

denominada **hormigón** y su uso está muy generalizado en construcción e ingeniería civil.

Las materias primas para la fabricación del cemento se pueden clasificar en dos tipos dependiendo de su función en el proceso:

-**Un aporte de carbonato**, generalmente calizas o margas. Son las encargadas de aportar el CaO que luego reaccionará en el horno para formar los silicatos que son los componentes realmente activos en el clínker.

-**Un aporte de fundentes**, generalmente arcillas o pizarras. Son las encargadas de aportar los óxidos que funcionan como fundentes y que contribuyen a la formación de fase líquida en el horno facilitando las reacciones.

Además el proceso productivo del cemento se divide en varias fases bien diferenciadas:

- Extracción de las materias primas que se encuentran a cielo abierto.
- Trituración del material hasta obtener un tamaño de grano adecuado, transportándolo posteriormente hasta el parque de almacenamiento en el parque de homogeneización.
- Molienda del material en molinos verticales o de bolas para reducir su tamaño y favorecer de esta forma su cocción en el horno.
- Precalentador de ciclones, donde se precalienta la materia prima para facilitar su cocción. Siendo la más utilizada en España la vía seca, que requiere hasta un 50% menos de energía que el resto de tecnologías.
- Producción del clínker a 1500°C en el horno.
- Enfriamiento rápido a través de aire para que no se reviertan las reacciones químicas conseguidas anteriormente. De aquí se pasa al molino o a silos.
- Molienda del clínker junto con materiales adicionales homogeneizándolo.

Dentro de estas fases, podemos realizar una clasificación dependiendo del origen de la energía que emplean las máquinas:

➤ **Fuente de energía térmica:**

- Extracción de las materias primas que se encuentran a cielo abierto.
- Precalentador de ciclones, donde se precalienta la materia prima para facilitar su cocción. Siendo la más utilizada en España la vía seca, que requiere hasta un 50% menos de energía que el resto de tecnologías.
- Producción del clínker a 1500°C en el horno.
- Enfriamiento rápido a través de aire para que no se reviertan las reacciones químicas conseguidas anteriormente. De aquí se pasa al molino o a silos.

Por las características de este tipo de máquinas, debido a que su alimentación se realiza a través de combustibles fósiles, no pueden regular energía eléctrica mediante su funcionamiento.

Trabajo Fin de Grado: Memoria

➤ Fuente de energía Eléctrica:

- Trituración del material hasta obtener un tamaño de grano adecuado, transportándolo posteriormente hasta el parque de almacenamiento en el parque de homogeneización.
- Molienda del material en molinos verticales o de bolas para reducir su tamaño y favorecer de esta forma su cocción en el horno.
- Molienda del clínker junto con materiales adicionales homogeneizándolo.

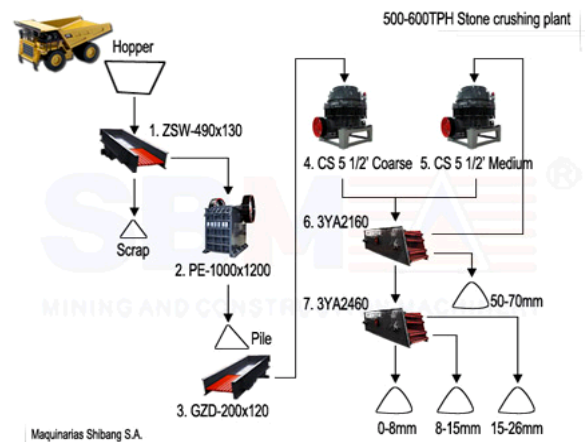
Estos procesos, al emplear como fuente de energía la electricidad, se debe analizar cada uno de estos procesos para verificar si se pueden adaptar o no a los servicios de ajuste.

➤ Trituración de la materia prima:

Esta fase se realiza una vez que se ha finalizado el proceso de extracción de la materia prima empleada, en el que actúan excavadoras, explosiones controladas y camiones de alto tonelaje en las minas de extracción de caliza. Esta materia extraída se almacena en silos de gran capacidad y a través de ellos se dispensa hacia los trituradores de bolas, de cono y de mandíbulas, entre los que intervienen los alimentadores vibratorios, los cuales sirven para cribar esta materia triturada y clasificarla para posteriores procesos de trituración.

A continuación, en la imagen XX, se puede observar este proceso de trituración:

Figura 10: Proceso de trituración y almacenamiento de la caliza (Maquinarias Shibang)



Si se hace una estimación de la potencia de las máquinas que se requieren para este proceso, para 500-600 toneladas por hora de caliza, tenemos:

- 1 Alimentador vibratorio(ZSW-490×130): 22 kW
- 1 Trituradora de Mandíbulas (PE-900x1200): 110 kW
- 1 Alimentador vibratorio (DZ110-4): 1,5*2 kW
- 1 Trituradora de cono (CSB240-Coarse): 240 kW
- 1 Trituradora de cono (CSB160-Coarse): 160 kW
- 1 Criba Vibratoria (2YA2460): 37 kW
- 1 Criba vibratoria (2YA2160): 30 kW

➔ Lo que hace una potencia total de: 602 kW

Lo cual permitiría regular una potencia de unos 600 kW en la primera fase de trituración. Gracias a la posibilidad de almacenar esta materia prima en silos, se da al gestor de recursos de la planta una gran flexibilidad a la hora de la planificación de los diferentes procesos.

➤ **Molienda del material:**

Una vez obtenido, el clínker se mezcla con yeso y adiciones (cenizas volantes y escoria siderúrgica) en proporciones adecuadas dentro de un molino de cemento. En su interior los materiales se muelen, se mezclan y se homogeneizan.

- **Molinos verticales:** Para que se pueda triturar toda la producción de la planta en estos molinos se deben instalar unos molinos con una capacidad de 500 toneladas por hora (3270 kW) o de 580 toneladas por hora (3750 kW). Por lo que la parada o reducción de carga de estas máquinas podría suponer un gran aumento en la potencia de regulación por parte de la planta.
- **Molinos de bolas:** Para triturar la materia prima también se pueden emplear este tipo de molinos, los cuales de forma general son de una tecnología más antigua y consumen una mayor potencia, alrededor del 30% más.

Por lo tanto, la elección de una u otra tecnología es un factor importante a la hora de conseguir un ahorro de energía eléctrica. Por lo que se debe de tener en cuenta el siguiente cuadro de ventajas e inconvenientes:

Trabajo Fin de Grado: Memoria

Tabla 5: Ventajas e inconvenientes de los molinos verticales y de bolas

MOLINO DE BOLAS	
VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none">• No requiere gases calientes para el secado de materias primas (máximo 5%).• Tecnología tradicional debido a la experiencia.• Fácil mantenimiento.	<ul style="list-style-type: none">• Menos eficiencia de molturación (80% de la energía se pierde como energía térmica, ruido y vibración).• Mayor consumo de energía eléctrica.• Diseño no compacto: Molienda, separación secado.
MOLINO VERTICAL	
VENTAJAS	INCONVENIENTES
<ul style="list-style-type: none">• Menor consumo de energía eléctrica.• Menor espacio para su instalación.• Diseño compacto: Muele, seca, separa y transporta al mismo tiempo.• Mayor capacidad de secado.• Mayor eficiencia de molturación.	<ul style="list-style-type: none">• Requiere de gases calientes para el secado de las materias primas.• Requiere de mantenimiento calificado.• Mayor desgaste de componentes de molturación: mesa, masas moledoras.• Mayor nivel de vibración.• Requiere inyección de agua para estabilizar la cama de material.

6.2.3.- Posible participación del sector industrial del cemento a los servicios de ajuste:

Por las características de estas máquinas, pertenecientes al proceso de molienda del sector industrial del cemento. Teniendo en cuenta las rampas de subida y bajada de potencia que las caracterizan, tienen una mayor capacidad para reducir consumo que para aumentar la potencia consumida. Por lo tanto, debido a que el tiempo que emplean para reducir y aumentar potencia está alrededor de los 15 minutos, pueden adaptarse técnicamente a los siguientes servicios de ajuste:

- **La potencia adicional a subir**, debido a que las unidades a las que se les haya asignado la provisión de reserva de potencia adicional a subir deberán participar en las diferentes sesiones del Mercado Intradiario en función de los tiempos de arranque y de programación.

Trabajo Fin de Grado: Memoria

- **La regulación terciaria**, por su requerimiento de potencia en la reserva de minutos, puede recibir aportación de potencia a subir o a bajar de esta parte del sector industrial del cemento, además ya que se requiere que esta potencia sea mantenida durante, al menos, 2 horas consecutivas, supone a los gestores de las plantas de producción de cemento aumento de sus ingresos sin condicionarles muchas horas en su proceso.
- **Gestión de desvíos**, puesto que ocurren desde el cierre de la sesión del mercado intradiario hasta el horizonte de efectividad de la siguiente sesión. Por lo que les permite tener tiempo suficiente para planificar la producción diaria y la potencia que pueden aportar, además de aumentar o disminuir el consumo de estas máquinas.
- **El control de tensión**, las plantas productoras de cemento podrían participar en este servicio de ajuste poniendo a disposición del operador del sistema sus elementos de compensación de reactiva (reactancias, condensadores...). Hoy en día este servicio no se retribuye porque no hay un mercado que lo regule.

Además de considerar si estas máquinas pueden cumplir técnicamente con los requisitos de estos servicios de ajuste, se debe tener en cuenta si estos procedimientos de operación empleados son remunerados o no. Ya que la actividad principal de las plantas de producción de cemento es fabricar cemento, no adaptar su producción a los servicios de ajuste. Esto último debe aportar un ingreso extra en aquellos momentos en los que productivamente es viable hacerlo.

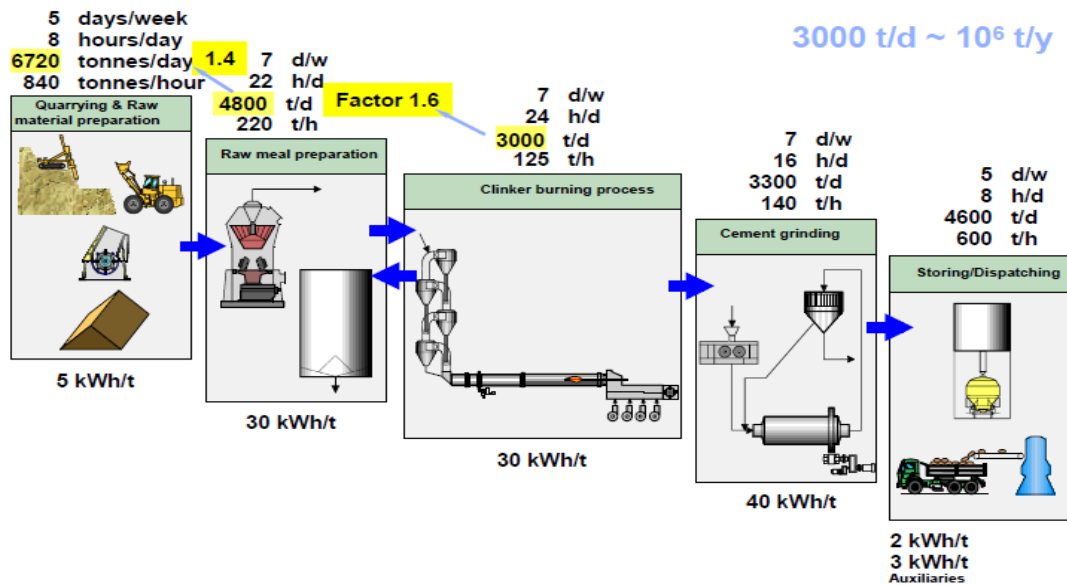
Por lo tanto, el sector industrial del cemento podría estar interesado en participar en aquellos servicios que sean retribuidos y para los que se disponga de capacidades técnicas requeridas.

Teniendo en cuenta esto, aquellos servicios de ajuste **viables** son **la gestión de desvíos, la regulación terciaria y la potencia adicional a subir**, mientras que únicamente **el control de tensión** no puede ser desempeñado actualmente, debido a que es un servicio de ajuste no retribuido y a que normativamente está pensado para los generadores. A pesar de ser factible técnicamente, no es interesante económicamente a no ser que se modifique la ley, creando un apartado para los consumidores.

La planificación necesaria para la correcta compenetración entre la producción de cemento y la aportación de potencia a subir o bajar de los servicios de ajuste se debe basar en la siguiente segmentación del desarrollo del proceso de fabricación del cemento. Está desarrollada en la imagen XX y se puede decir que las fases que se pueden adaptar a los servicios de ajuste de una forma más notable teniendo en cuenta las argumentaciones anteriores son la primera, la segunda la cuarta y la quinta.

Trabajo Fin de Grado: Memoria

Figura 11: Proceso completo de producción del cemento (Oficemen)



A la hora de realizar una posible modificación de la potencia consumida con objetivo de ajustar dicho consumo a los servicios de ajuste, se debe tener en cuenta el factor de sobredimensionamiento que existe entre las diferentes fases del proceso de producción del cemento.

Como se puede observar en la imagen XX, dicho factor es 1,4 entre la extracción de materia prima y la preparación de la mezcla, por lo que deben existir silos donde se almacene el exceso de esta materia prima. Aprovechando la instalación de estos silos, se puede aumentar el factor de capacidad de esta fase o disminuirlo, facilitando la adaptación de la planta de esta forma a los servicios de ajuste.

Tanto la parte de preparación de la mezcla como la clinkerización no se van a estudiar en profundidad en este Trabajo Fin de Grado, ya que no se adaptan a los requerimientos que exige los servicios de ajuste. Esto es debido a que son máquinas térmicas y además, por sus características funcionales, para que trabajen en condiciones óptimas deben estar en funcionamiento de forma continua.

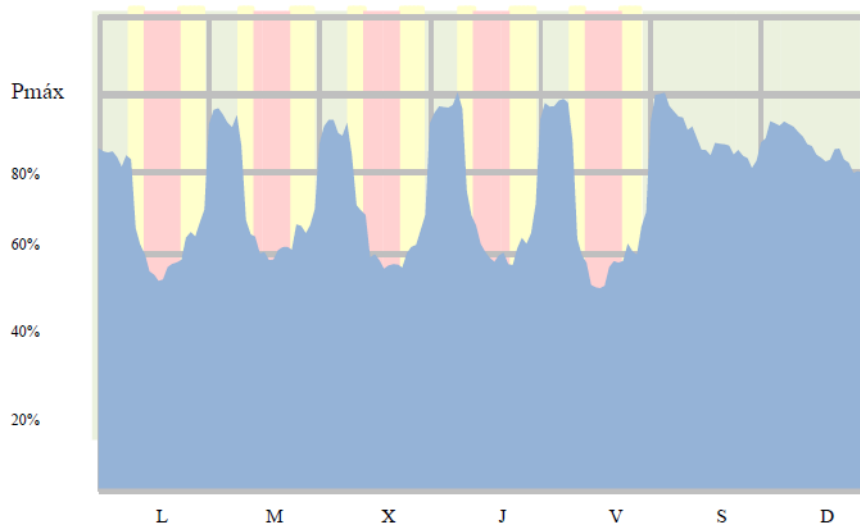
En cuanto al factor de sobredimensionamiento que existe entre las fases de molienda del cemento y distribución, debido a que es menor que 1 (La capacidad de distribución es mucho mayor que la de molienda) no existe ningún requerimiento técnico que obligue a las plantas cementeras a tener silos de distribución, pero la irregularidad de la demanda de cemento sí que exige la existencia de estos silos, lo que provoca que esta parte del proceso también se adapte a los servicios de ajuste.

Por lo tanto, se puede concluir diciendo que se tiene una posible potencia a regular de 5 MW para una planta de 500-600 toneladas a la hora de caliza.

6.2.4.- Demanda eléctrica del sector del cemento:

En el sector productivo del cemento, los consumos de energía eléctrica son muy irregulares y se adaptan a los diferentes tipos de tarifas de electricidad. Sus picos de consumo se producen en las primeras horas del día y en los fines de semana. Es decir, cuando el precio por kW/h es menor.

Figura 12: Patrón de consumo eléctrico semanal de una cementera



De esta forma, teniendo en cuenta los períodos tarifarios, el sector del cemento emplea:

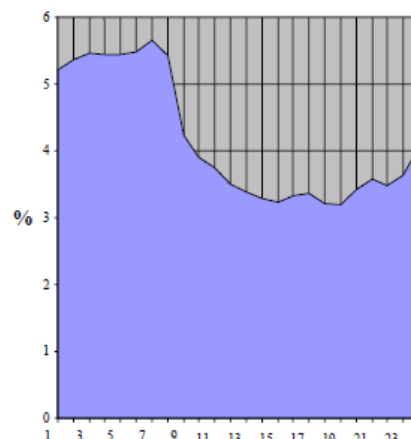
- Los días tipo A, B y C de forma limitada, ya que el precio de la energía es mayor.
- Los días tipo D prácticamente a potencia nominal, por el menor precio de energía.

Además, como se puede observar en la figura 12, la potencia regulada de lunes a viernes está en torno al 40% del total de la consumida por las fábricas. Por lo que esta potencia podría adaptarse a los servicios de ajuste anteriormente empleados.

Si se realiza un zoom del consumo eléctrico de las fábricas de cemento de lunes a viernes se puede observar que este se puede diferenciar en tres fases:

1ª Fase: Tiene lugar desde la primera fase del día hasta las 8 de la mañana. La cementera trabaja a su ritmo más elevado posible aprovechando que la energía es más barata ya que nos encontramos en el período tarifario 6 donde el precio de la energía es menor.

Figura 13: Reparto por horas de la energía demandada por una cementera



2ª Fase: Durante la hora siguiente, la demanda decrece. Esto es debido a que los molinos empiezan a parar en un intervalo de horas en el que la demanda global del sistema aumenta al igual que el precio de la energía.

3ª Fase: A partir de esta hora, y hasta las 18-19 h de la tarde el Sistema Eléctrico Español se encuentra en zona de punta de demanda, por lo que la actividad de los grandes consumidores de este sector industrial (principalmente los molinos) tienen una actividad nula.

6.2.5.- Conclusiones sector industrial del cemento:

Se puede concluir el estudio de este sector productivo diciendo que el sector del cemento se caracteriza por tener un patrón muy regular en los días laborables. Es patrón modula dependiendo del precio de la energía eléctrica en cada período tarifario alrededor de un 40% de su consumo nomina.

Esto es debido a que la parte formada por los molinos tiene un peso importante en el consumo de energía eléctrica y a que técnicamente, estas máquinas se adaptan a los requisitos que exigen los servicios de ajuste.

Finalmente, a través de los datos de los que disponemos, se puede decir que los servicios de ajuste a los que podría adaptarse la industria del cemento son:

-El consumo de potencia a subir.

-La regulación terciaria.

-La gestión de desvíos.

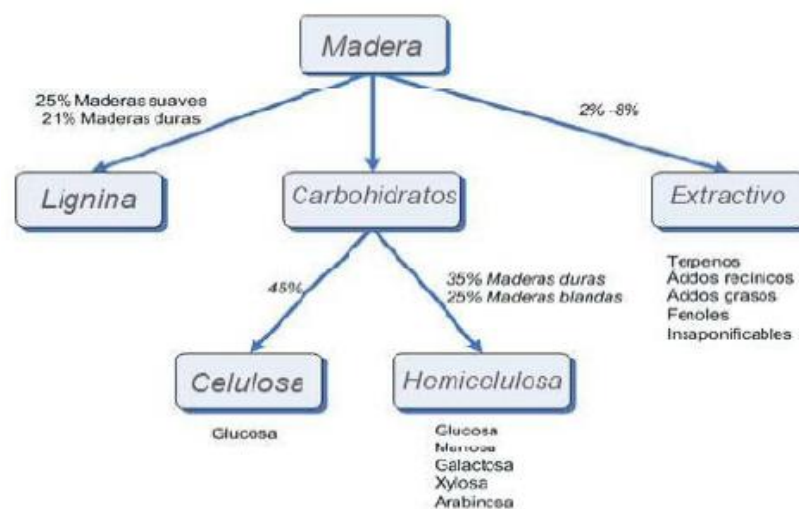
6.3.- Sector de producción del Papel:

6.3.1.- Introducción al sector del papel:

El **papel** es un producto **natural, renovable y reciclable**. Esto es debido a que proviene de la madera de los árboles, porque se regenera y vuelve a crecer y porque los procesos actuales permiten su reutilización.

Como se puede observar en la figura 14, la madera abastece por sí sola los diferentes grupos que forman el papel.

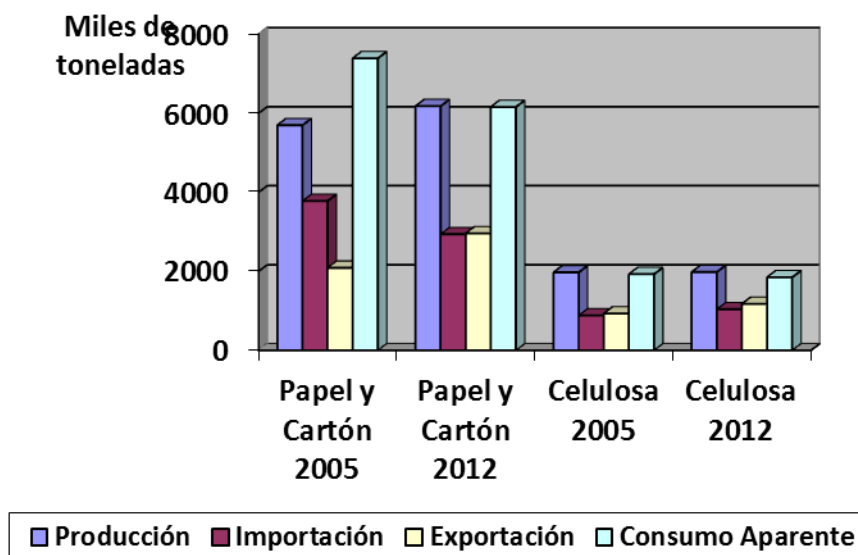
Figura 14: Esquema de los componentes que forman el papel



Este producto es tan ampliamente usado que hay más de 500 tipos, los cuales se producen mediante procesos parecidos. El papel se fabrica mediante las fibras de celulosa que hay en la madera. Cuando estas fibras se usan por primera vez se denominan fibras vírgenes, mientras que si se emplean una vez recuperadas a través de un proceso de reciclaje se llaman fibras recuperadas, aunque en realidad se trata de la misma fibra en momentos diferentes de su ciclo de vida.

La situación actual del sector del papel viene determinado por el gráfico XX, el cual representa la cantidad de papel y cartón y celulosa que se ha producido, importado, exportado y demandado por nuestro país en 2005 y en 2012. Por lo que se puede observar la evolución que ha sufrido este sector en los últimos años.

Figura 15: Evolución de la importación, importación exportación y consumo de derivados del papel (ASPAPEL)



Como se puede observar, durante 2012 España ha consumido menos que en 2005 mientras que la producción tanto de papel y cartón como de celulosa ha aumentado, esto se explica debido a la recesión económica, las empresas de este sector han aumentado sus exportaciones.

En cuanto a la localización geográfica de las plantas de fabricación de papel, estas se encuentran en la zona Noreste y costera de España, como se puede apreciar en la figura 16.

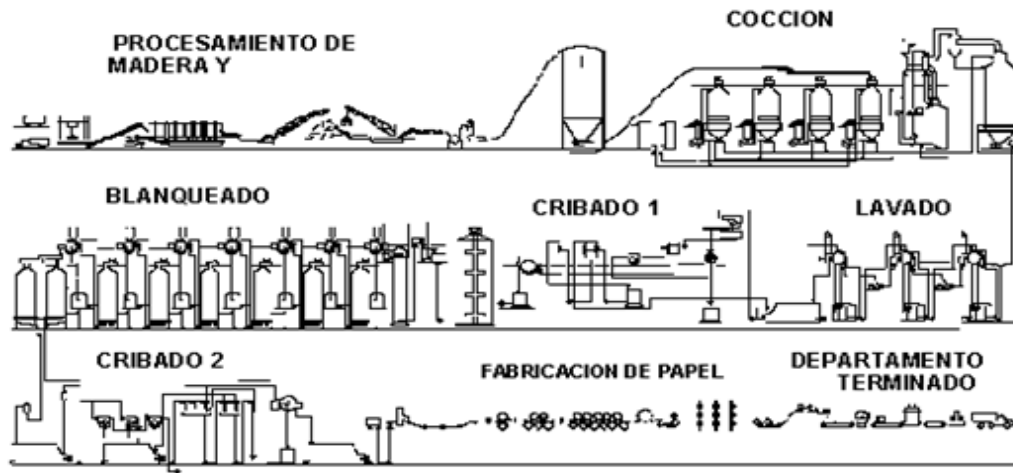
Figura 16: Localización de las principales fábricas de papel en España (ASPAPEL)



6.3.2.- Proceso productivo del papel:

El proceso productivo del papel tiene un largo recorrido, desde la fase en la que se obtiene la madera de los bosques hasta que la “pasta” adquiere la forma, color, composición y humedad adecuada para poder venderla al usuario. Este proceso productivo se puede observar en el figura 17.

Figura 17: Proceso de producción del papel



Por lo tanto, a partir de este gráfico 1 se pueden seleccionar aquellas partes del proceso que pueden intervenir en una regulación activa del consumo de energía eléctrica. El análisis de estos procesos lo podemos hacer, al igual que en el sector productivo del cemento, dividiendo las fases de la producción del papel en aquellos que emplean máquinas eléctricas y aquellos que usan máquinas térmicas:

➤ Fuente de energía Térmica:

- Proceso de recogida de madera de los bosques.
- Horneado: La pasta de celulosa pasa al horno, donde obviamente no se puede interrumpir el proceso.
- Blanqueado: Son procesos químicos que requieren unos ciertos tiempos que deben ser muy rigurosos para la correcta realización del proceso.

Por las características de este tipo de máquinas, debido a que su alimentación se realiza a través de combustibles fósiles, no pueden regular energía eléctrica mediante su funcionamiento.

➤ Fuente de energía Eléctrica:

- Descortezamiento: Se realiza a través de máquinas eléctricas rotatorias, las cuales tienen una inercia asociada a su movimiento, pero debido a la naturaleza de estas máquinas es de suponer que se podrían adaptar a los servicios de ajuste.
- Trituradora (tiene dos fases): Al igual que en el caso anterior, la trituración de la madera puede variar su producción de una forma muy rápida y que no afecta al

Trabajo Fin de Grado: Memoria

desarrollo del proceso. En primer lugar se tritura hasta alcanzar tamaños de unos 5 centímetros y posteriormente se tritura completamente, transformándose en polvo.

- Fases de bobinado, rebobinado y cortado: Las plantas de producción del papel, tienen dos fases de bobinación. La que se produce cuando se extrae el papel de la máquina principal, y la que tiene lugar cuando se desea manipular estas bobinas para posteriores fases del proceso, como por ejemplo el corte en las medidas que requiere el cliente.
- Fases de movimiento de la bobinas de papel a través de grúas: Esta función va ligada a la fase de rebobinado y cortado, ya que se requiere la utilización de dichas grúas para trasladar las bobinas a las máquinas rebobinadoras.
- Laminado: Este proceso no es conveniente interrumpirlo, ya que requiere unos ciertos minutos en conseguir la velocidad de laminado adecuada y una vez alcanzada esta velocidad, los costes que suponen la interrupción del proceso son enormes en comparación con el beneficio que se podría obtener a través de la posible retribución por la adaptación a los servicios de ajuste.
- Fase de laminación y secado del papel a una velocidad de 1900 metros por minuto.

Una vez clasificadas las diferentes fases del proceso, es necesario explicar que todas estas partes no están relacionadas entre sí, sino que por un lado están relacionadas las partes de descortezamiento y trituración y por otro lado las partes de rebobinado y cortado junto con el proceso de movimiento a través de la grúa, dependiendo estas últimas de la velocidad de producción de la máquina laminadora.

Primera fase:

El proceso de descortezado y triturado, las cuales dependen entre sí, ya que se requiere el descortezado antes del proceso de trituración. No son procesos que se realizan en todas las plantas de fabricación de papel, ya que hay otras que se dedican a la obtención de papel reciclado.

De todos modos, un aspecto muy positivo de estas fases del proceso es que se puede almacenar “energía” en el sentido de que se puede aumentar o reducir la producción de estos procesos en aquellos momentos en los que exista un bajo o alto consumo de energía eléctrica en el país. Esto se conseguiría almacenando la materia prima tratada en silos evitando consumir en aquellos momentos en los que la demanda de energía eléctrica es muy alta. Obviamente esta capacidad de regulación depende directamente de la capacidad de almacenamiento de los silos de la planta, por lo que sería variable dependiendo de la planta estudiada.

Segunda fase:

La segunda fase que se podría interpretar es aquella que engloba la bobinación posterior al proceso de fabricación del papel, y el posterior transporte de dichas

bobinas cuando exista demanda, las cuales se extraerán cuando se requieran para el proceso de rebobinado y cortado.

Debido a que ante todo se debe preservar la seguridad y correcto funcionamiento del proceso, no se puede regular la energía que consumen las bobinadoras y grúas encargadas de manipular las bobinas que sale directamente de la laminadora y secadora de papel, ya que salvo operaciones de mantenimiento, esta máquina funciona durante todo el año.

Este proceso, al igual que el anterior, permite “almacenar energía”, ya que dispone de naves donde almacenar las bobinas de papel durante los períodos en los que no se requiera la regulación del sistema. Pudiendo disponer de esta mercancía almacenada cuando haya un aumento de los pedidos o para realizar el proceso de rebobinado y cortado cuando haya una carencia de demanda y el sistema eléctrico requiera un aumento del consumo.

6.3.3.- Posible Participación del sector industrial del papel a los servicios de ajuste:

Por las características de las máquinas que forman parte de los procesos explicados previamente, las cuales tienen una mayor capacidad para reducir consumo que para aumentar su potencia consumida y debido a que estas modificaciones las producen en un tiempo que oscila entre los 15 y 20 minutos, pueden adaptarse técnicamente a los siguientes servicios de ajuste:

- **La potencia adicional a subir**, debido a que las unidades a las que se les haya asignado la provisión de reserva de potencia adicional a subir deberán participar en las diferentes sesiones del Mercado Intradiario en función de los tiempos de arranque y de programación.
- **La regulación terciaria**, por su requerimiento de potencia en la reserva de minutos, puede recibir aportación de potencia a subir o a bajar de esta parte del sector industrial del papel, además ya que se requiere que esta potencia sea mantenida durante, al menos, 2 horas consecutivas, supone a los gestores de las plantas de producción de cemento aumento de sus ingresos sin condicionarles muchas horas en su proceso.
- **Gestión de desvíos**, puesto que ocurren desde el cierre de la sesión del mercado intradiario hasta el horizonte de efectividad de la siguiente sesión. Por lo que les permite tener tiempo suficiente para planificar la producción diaria y la potencia que pueden aportar, además de aumentar o disminuir el consumo de estas máquinas.
- **El control de tensión**, las plantas productoras de papel podrían participar en este servicio de ajuste poniendo a disposición del operador del sistema sus elementos de compensación de reactiva (reactancias, condensadores...). Hoy en día este servicio no se retribuye porque no hay un mercado que lo regule.

Además de considerar si estas máquinas pueden cumplir técnicamente con los requisitos de estos servicios de ajuste, se debe tener en cuenta si estos procedimientos de operación empleados son remunerados o no. Ya que la actividad principal de las plantas de producción de cemento es fabricar cemento, no adaptar su producción a los servicios de ajuste. Esto último debe aportar un ingreso extra en aquellos momentos en los que productivamente es viable hacerlo.

Por lo tanto, el sector industrial del cemento podría estar interesado en participar en aquellos servicios que sean retribuidos y para los que se disponga de capacidades técnicas requeridas.

Teniendo en cuenta esto, aquellos servicios de ajuste **viables** son **la gestión de desvíos, la regulación terciaria y la potencia adicional a subir**, mientras que únicamente **el control de tensión** no puede ser desempeñado actualmente, debido a que es un servicio de ajuste no retribuido y a que normativamente está pensado para los generadores. A pesar de ser factible técnicamente, no es interesante económicamente a no ser que se modifique la ley, creando un apartado para los consumidores.

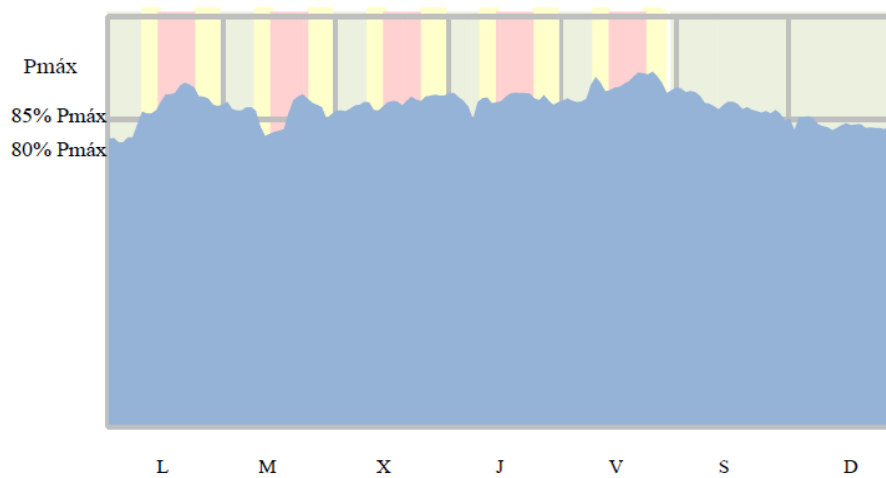
Sin embargo, a pesar de que técnica y económicamente es viable adaptar estos procesos de la fabricación de papel a los servicios de ajuste. La potencia que suponen estos procesos con respecto al total es muy bajo, por lo que según los datos de los que disponemos, la potencia a modular por este sector industrial sería muy poca.

6.3.4.- Análisis de la curva de consumo eléctrico de una planta de producción de papel:

Teniendo en cuenta la curva de consumo de energía eléctrica semanal de este tipo de industrias, la cual se puede ver en el siguiente gráfico, el consumo no sigue un patrón de ahorro energético, ya que se observa que en las horas centrales del día (cuando el precio de la electricidad es más elevado) es cuando mayor consumo se produce. Por lo tanto, podemos concluir que estas fábricas producen según la demanda que tengan. Su consumo energético varía entre el 80% y el 100%, bajando ligeramente su consumo durante el fin de semana.

Es decir, el figura 18 ratifica lo explicado en el punto anterior, que la potencia que suponen con respecto del total de la planta de aquellos procesos que se pueden adaptar a los servicios de ajuste es muy baja.

Figura 18: Patrón de consumo eléctrico semanal de una fábrica de papel



6.3.5.- Conclusiones sector industrial del papel:

Se puede concluir el estudio de este sector productivo diciendo que el sector del papel se caracteriza por tener un patrón muy constante durante toda la semana, sin seguir ningún patrón de modulación o ahorro energético. Según se observa en su gráfica de consumo semanal, la mayor variación de consumo eléctrico es de un 20%. Este 20% es el proporcionado por aquellas máquinas que pertenecen a los procesos de bobinado y rebobinado, cortado y transporte, cuyas características sí les permiten modular con la curva de la demanda de la energía eléctrica en España.

Es decir, estos servicios de ajuste a los que podría adaptarse la industria del papel son:

-El consumo de potencia a subir.

-La regulación terciaria.

-La gestión de desvíos.

Aunque con una potencia muy reducida.

6.4.- Sector productivo de metales no férreos:

6.4.1.- Introducción al sector de los metales no férreos:

Comprende todos los metales a excepción del hierro.

Su utilización no es tan masiva como la que tienen los productos férreos (hierro, acero y fundición) pero tienen una gran importancia en la fabricación de gran cantidad de productos, por propiedades como, en ocasiones:

- el bajo peso específico
- la resistencia a la oxidación condiciones ambientales normales
- la fácil manipulación y mecanizado.

Además, los metales férricos presentan algunos inconvenientes como: la facilidad de corrosión, el punto de fusión elevado, la baja conductividad térmica y eléctrica. Por ello la industria utiliza los metales no férricos. En este apartado se van a estudiar el cobre, el aluminio y el cinc, los cuales son unos de los más empleados en la actualidad para todo tipo de utilidades.

6.4.2.- Proceso productivo del cobre:

La producción del **cobre** comienza con la extracción del material de las minas (bien a cielo abierto o subterráneas). Esta extracción se realiza a través de máquinas excavadoras y de explosiones controladas. La forma en la que se puede encontrar el cobre es bien en forma de sulfato o en forma de óxido:

- **Zona lixiviada u oxidada** con una ley de cobre inferior al 0,5%.
- **Zona de sulfuros secundarios** con leyes de cobre entre 1-5%.

La metalurgia del cobre depende de que el mineral sea de naturaleza sulfurosa, en cuyo caso se utiliza la vía pirometalúrgica, o que sean óxidos, en cuyo caso se utiliza la vía hidrometalúrgica en la que se producen directamente cátodos.

Para poder analizar si es viable la adaptación de la producción del cobre a los servicios de ajuste, debemos analizar los dos procesos metalúrgicos que se pueden seguir dependiendo de la naturaleza del cobre en su extracción:

6.4.2.1.- Pirometalurgia:

La Pirometalurgia se emplea, como se ha indicado anteriormente, cuando el cobre que se extrae de la mina se encuentra en forma de sulfuro. Este proceso se divide en las siguientes fases:

- **Flotación de la materia prima para aumentar la riqueza del cobre:** en la mina, la materia tiene una riqueza del 0,5-0,2%, mientras que a través de este proceso se consigue un concentrado de cobre que contiene entre 20 y 45% de este material.
- **Etapas en el horno de fusión:** donde se elimina el azufre y el hierro mediante oxidación en estado fundido a una temperatura entre los 1200 y los 1300 °C. El cobre se sitúa en la parte inferior (por su mayor densidad) y forma la “mata de cobre” con un 62% de contenido de este elemento.
- **Sección de convertidores:** En esta fase se incrementa la riqueza del cobre a través de una gran oxidación adicional en un proceso continuo llamado “batch”, consiguiendo un producto intermedio denominado blister con un contenido en cobre del 99%.

- **Fase en el Horno de afino:** El blister pasa al horno de afino donde incrementa su contenido en cobre hasta el 99,6%
- **Rueda de moldeo de ánodos:** donde se da a los ánodos la forma geométrica, semejante a una camiseta de mangas cortas extendidas “T-shirt”, necesaria para su utilización en la Refinería.
- **Fase de refinería:** que es la fase final del proceso de producción de los cátodos con un contenido del 99,9% de cobre. El proceso utilizado es el electrorefino de los ánodos.

6.4.2.2.- Hidrometalurgia:

La hidrometalurgia, se emplea cuando el cobre extraído de la mina está en forma de óxido. Dividiéndose en las siguientes fases:

- **Extracción de la mina:** Al igual que en el proceso de Pirometalurgia, la extracción del cobre se realiza a través de excavadoras y explosiones controladas.
- **Trituración o chancado:** Etapa en la cual grandes máquinas reducen las rocas a un tamaño uniforme de no más de 1,2 cm.
- **Molienda:** grandes molinos continúan reduciendo el material, hasta llegar a unos 0,18 mm.
- **Lixiviación:** Se disuelven los minerales de cobre, óxidos o sulfuros secundarios, mediante el riego con una disolución acuosa de ácido sulfúrico, obteniéndose una solución de sulfato de cobre con bajo contenido de cobre.
- **Tratamiento con un reactivo extractante orgánico:** Permite extraer el cobre y obtener un electrolito con alto contenido de cobre y limpio de todos los elementos indeseables.
- **Celdas de electrólisis:** donde la energía eléctrica hace que los iones de cobre presentes en la solución se depositen en los cátodos, de ahí su nombre de electrodeposición, a diferencia del electrorefino, que se realiza al pasar de ánodos de cobre a cátodos.

Estos procesos que se han explicado previamente se pueden observar a continuación en la figura 19:

Figura 19: Proceso de producción del cobre



Por lo tanto, una vez desarrollados los dos métodos de obtención de cobre, debemos indicar que el más empleado es la Pirometalurgia, suponiendo alrededor del 82% de la producción total. Mientras que la Hidrometalurgia supone el 18 % del total.

Trabajo Fin de Grado: Memoria

Tabla 6: Evolución de la producción mundial de cobre

PRODUCCIÓN MUNDIAL DE COBRE REFINADO				
Expresado en millones de Tm de cobre				
	1990	2000	2005 (E)	2010 (E)
Pirometalúrgica	10,2	12,5	14,5	17,0
Hidrometalúrgica	0,6	2,3	3,0	3,7
Producción Total	10,8	14,8	17,5	20,7

6.4.2.2.- Conclusiones producción de cobre:

Solo en el método de la hidrometalurgia se emplean máquinas que por sus características pueden adaptarse a los servicios de ajuste del Sistema Eléctrico Español (durante las fases de trituración y molienda), ya que en la pirometalurgia, las fases que la componen son exclusivamente de naturaleza química.

Además, debido a que la hidrometalurgia supone únicamente el 18% del total de plantas del mundo, se puede concluir este estudio que con los datos que disponemos, el sector industrial de producción de cobre no puede modular adaptándose a los servicios de ajuste.

6.4.2.3.- Ventajas e inconvenientes:

La última etapa de la vía hidrometalurgia, la electrodeposición, tiene dos desventajas respecto a la etapa de electro-refino correspondiente a la vía pirometalurgia, una, intrínseca a la físico-química del proceso, que es el mayor consumo de energía, y otra, la inferior calidad de los cátodos por las impurezas y menor contenido de cobre, que se va subsanando con las nuevas tecnologías y plantas.

El anterior razonamiento unido a que la metalurgia a utilizar depende de que los minerales sean sulfuros u óxidos y puesto que el 90% de los minerales de cobre son sulfuros, hace que la producción de cobre refinado vía hidrometalúrgica sea solamente el 16% de la producción total, aunque en los próximos diez años se espera que alcance el 18%.

El cátodo necesita ser transformado en unos productos intermedios para la elaboración de los productos finales que requiere el mercado y que hemos relacionado al principio, estos productos intermedios son los siguientes, incluyendo su importancia sobre la producción total: alambrón 46%, aleaciones de cobre 25%, tubos 12%, planos 9% y otras secciones 8%.

Europa es el mayor productor del mundo occidental con el 27% del total mundial, mientras que España sólo tiene el 6% de la producción europea siendo los líderes Alemania e Italia. Los principales productores españoles son: Atlantic Copper, S.A.; Outokumpu Copper Tubes, S.A.; SIA Copper, S.A.; Laminados Oviedo Córdoba, S.A.; La Farga Lacambra, S.A.; Tubo Técnico Europeo, S.L. y Peninsular del Latón, S.A. Concluyendo, el cobre es un material indispensable para el mundo actual y favorece el desarrollo sostenible porque es duradero y reciclable sin perder sus propiedades.

6.4.2.- Proceso productivo del aluminio

6.4.2.1.- Introducción:

El **aluminio** es el tercer elemento más abundante en la corteza terrestre y constituye el 7,3% de su masa, además, es el segundo metal no férreo más utilizado en el mundo. En estado natural, sólo existe en una combinación estable con otros materiales (particularmente en sales y óxidos) y no fue descubierto hasta 1808. A pesar de los grandes esfuerzos iniciales que se tuvieron que realizar para poder aislar el aluminio puro del mineral en su estado original, para poder hacer viable su producción, comercialización y procesamiento, actualmente se produce más aluminio que la suma del resto de la producción de los otros metales no ferrosos.

El aluminio es un metal sustentable. Dados los actuales niveles de producción, las reservas conocidas de bauxita (de las cuales se obtiene el mineral de aluminio) durarán por cientos de años. Más del 50% de la producción mundial de aluminio (se excluye la producción rusa y china) se realiza utilizando energía hidroeléctrica renovable.

Casi la totalidad de los productos de aluminio pueden desde un punto de vista técnico, (factibilidad) y económico (rentabilidad) ser reciclados repetidamente para producir nuevos productos, sin perder el metal su calidad y propiedades. La utilización de metales reciclados ahorra energía y preserva las fuentes de recursos naturales. Es por eso que el creciente uso del aluminio reciclado en diversas aplicaciones le da el reconocimiento de metal “verde”.

6.4.2.2.- Fases del proceso productivo:

La producción de aluminio consiste de 3 pasos: **extracción de bauxita, producción de alúmina y electrólisis de aluminio**. El aluminio es el 3er metal más abundante en la superficie de la tierra.

La materia prima para la producción de aluminio, bauxita, está compuesta principalmente por uno o más componentes de hidróxido de aluminio, además de sílica, hierro y óxido de titanio como las principales impurezas.

El mineral del cual se puede obtener aluminio comercial se llama **bauxita**, la cual regularmente puede ser encontrada en minas de depósito abierto, para lograr uniformidad en el material se tritura y con agua a presión se lava para eliminar otros materiales y sustancias orgánicas. Posteriormente el material se refina para obtener la alúmina, lo que ya es un material comercial de aluminio con el que se pueden obtener lingotes por medio del proceso de fundición. Aunque también existe el proceso de **BAYER**, el cual consiste en:

1. La bauxita después de haber sido pulverizada y obtenida de los procesos de espumado se carga a un digestor el que contienen una solución de sosa cáustica bajo presión y a alta temperatura.

Trabajo Fin de Grado: Memoria

2. Producto del digestor se forma aluminato de sodio que es soluble en el licor generado.
3. Los sólidos insolubles como hierro, silicio, titanio y otras impurezas son filtrados y el licor con la alúmina se bombea a depósitos llamados precipitadores .
4. En los precipitadores se agregan uno cristales finos de hidróxido de aluminio, estos cristales se hacen circular por entre el licor concentrado para que sirvan de simientes, van creciendo en dimensiones a medida que el hidróxido de aluminio se separa del licor.
5. El hidróxido de aluminio que se adhirió a los cristales se calcina en hornos que operan por arriba de los 900°C. Esto convierte a la alúmina en un producto de alta calidad para la fusión y obtención de aluminio de buena calidad.
6. La alúmina producto de los hornos de calcinado es procesada en tinas electrolíticas llamadas celdas reductoras. Estas tinas funcionan con un baño de crolita (fluoruro de aluminio sódico), el ánodo es un electrodo de carbón y el cátodo es la misma tina. En estas tinas se obtiene el aluminio metálico.
7. El aluminio obtenido de las celdas reductoras es moldeado y procesado en hornos de concentración para la obtención de aluminio de alta calidad.

Para la producción de cada kilogramo de aluminio se requiere 2 kg de alúmina, los que son producto de 4 kg de bauxita y 8 kWh de electricidad.

6.4.2.3.- Conclusiones producción de aluminio:

Al igual que la fabricación de cobre, la producción de aluminio es un proceso fundamentalmente químico en el que en este caso sí que interviene de forma importante la energía eléctrica. Pero se debe tener en cuenta además que el proceso de obtención no puede ser alterado, disminuyendo su calidad. Por ello, se pueden parar varias líneas de producción completas pero se requiere un tiempo para la planificación y el apagado mayor del que permiten la **potencia adicional a subir**, la **regulación terciaria** o la **gestión de desvíos**.

6.4.3.- Proceso productivo del Zinc

6.4.3.1.- Introducción:

El **zinc** es el tercer metal no férreo más utilizado del mundo (después del aluminio y del cobre). Es un metal blanco ligeramente azulado y brillante, quebradizo cuando esta frío, pero se vuelve maleable y dúctil entre 100 y 150°C.

Tiene muy buenas características para aplicaciones industriales, lo que lo convierte en un elemento muy valioso y que sea necesaria su producción a nivel mundial (se encuentra alrededor de los 10 millones de toneladas).

Una característica excepcional del zinc es su propiedad natural para proteger al hierro y al acero contra la corrosión, principalmente mediante el recubrimiento denominado galvanización extendiendo la vida útil de las estructuras y productos de acero.

Otra buena característica que tiene es su propiedad para alearse con el cobre dando lugar al latón, que es una aleación de cobre y zinc. Tiene aplicaciones tradicionales en grifería, herrajes, picaportes, lámparas y objetos decorativos, construcción naval, instrumentos musicales, etc.

El zinc también se puede usar para almacenar energía en baterías. Las baterías zinc-aire se encuentran en fase avanzada de experimentación en vehículos eléctricos y otras aplicaciones.

Al comienzo de la producción de zinc metal, se utilizaba calamina. Tan solo se precisaba una calcinación de la calamina para descomponer el silicato hidratado, y dejar un silicato activado que era reducido con carbón.

Agotados los yacimientos de calamina se comenzó a utilizar la blenda para la extracción del zinc. Actualmente casi la totalidad de la producción mundial de zinc se obtiene a partir de sulfuros concentrados por flotación, que es una técnica de concentración de minerales en húmedo, en la que se aprovechan las propiedades físicoquímicas superficiales de las partículas para efectuar la selección.

Una vez se ha obtenido la blenda cruda concentrada, se procede a la obtención del zinc.

6.4.3.2.- Fases del Proceso Productivo:

Existen varios procesos que conducen a la obtención del zinc metal: procesos de reducción térmica, proceso de retortas horizontales, proceso de retortas verticales, proceso electro térmico, proceso ISF y el proceso electrolítico, siendo este último el más utilizado produciendo el 85% del zinc mundial.

Los minerales de los que se extrae el zinc por proceso electrolítico son la esfalerita o blenda, o la marmatita.

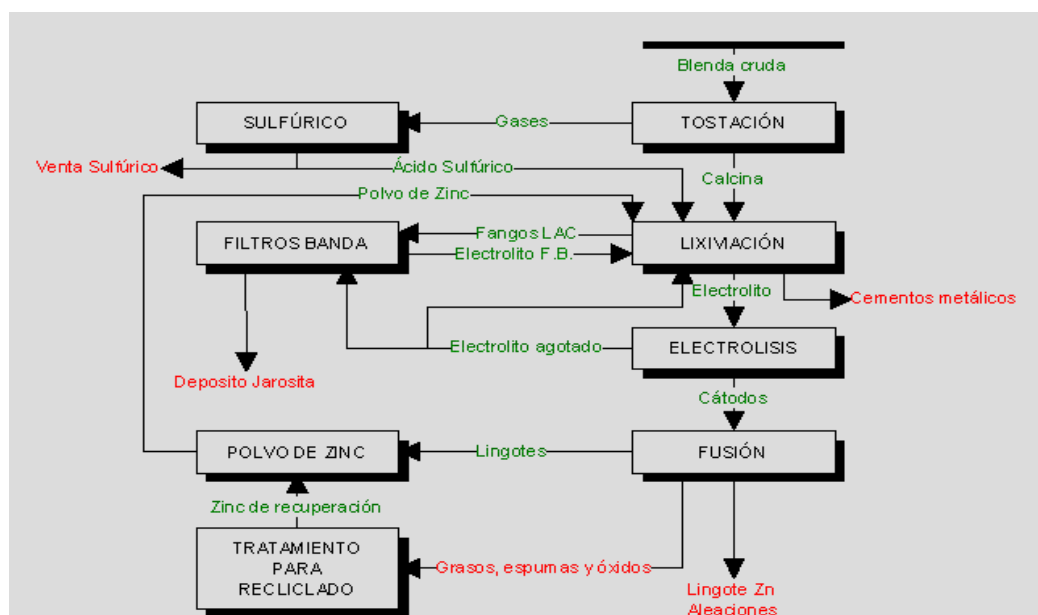
Este proceso productivo se divide en las fases de:

- Tostación
- Liximación
- Electrolisis
- Fusión
- Tratamiento para el reciclado

6.4.2.3.- Conclusiones producción de zinc

Como se puede apreciar en la figura 20, el proceso de formación del zinc es casi en su totalidad químico, es decir, el consumo de energía eléctrica tiene un peso no tan importante como en los sectores industriales del cemento y del papel. Además, se emplea el proceso de la electrolisis, cuya energía empleada es muy difícil de conseguir que participe en los servicios de ajuste.

Figura 20: Proceso de producción del zinc



Por lo tanto, este sector de fabricación, al igual que los de cobre y aluminio, según los datos de que disponemos no podría participar en los servicios de ajuste (la **potencia adicional a subir**, la **regulación terciaria** o la **gestión de desvíos**), ya que no se adaptan a las especificaciones requeridas por estos sin afectar a la calidad del producto obtenido.

7.- Presupuesto:

Para realizar este Trabajo fin de Grado se han empleado tanto recursos materiales como inmateriales. No se ha realizado un prototipo, ya que la idea en la que se basa este trabajo fin de grado no se adapta a esto si no en analizar la viabilidad técnica de los sectores industriales estudiados de adaptarse a los servicios de ajuste y en realizar un primer acercamiento de la implantación de estos a la producción del cemento, del papel y de la metalurgia no férrika.

Por lo tanto, el presupuesto de los recursos empleados es:

Un ordenador	100,00 €
Licencias del paquete office	11,74 €
300 horas/hombre	9000 €

Tanto en el ordenador como las licencias de Microsoft Office se ha supuesto una amortización lineal en la que se ha empleado una quinta parte de la utilización total de cada producto.

Lo que hace un total de 9708,7 € invertidos para realizar el estudio preliminar técnico tratado en este Trabajo Fin de Grado.

Trabajo Fin de Grado: Memoria

8.- Cronograma:

La realización de este Trabajo Fin de Grado me ha llevado desde Enero hasta Junio de 2013, empleando aproximadamente 300 horas en su ejecución. Estas horas se han dividido en tres partes bien diferenciadas (investigación previa, búsqueda de información y redacción de la memoria), aunque las dos últimas etapas se han ejecutado en paralelo durante la parte final de la realización del Trabajo Fin de Grado. Durante estas etapas he realizado las siguientes acciones:

- **Investigación previa:** Lectura de todo tipo de documentación facilitada por Fernando Soto y encontrada por mí acerca del funcionamiento del Sistema Eléctrico Español y de los procesos industriales estudiados. El objetivo de esta fase es la familiarización con el lenguaje técnico empleado y crear una estructura mental del TFG, la cual se siguió durante la realización del mismo. Además, a continuación se puede observar con más detalle la realización de esta fase:

Semana 1	Semana 2
Investigación Previa	
Servicios de ajuste y comercialización de electricidad	Sectores Industriales del Cemento, Papel y Metalurgia no férrea

- **Búsqueda de Información:** Tras tener claro cómo se va a estructurar el TFG se procede a la búsqueda de información de todos aquellos temas importantes de los que va a constar el mismo. Esta información se almacena en carpetas perfectamente identificadas para facilitar de esta forma la posterior realización de la bibliografía. Además, a continuación se puede observar con más detalle la realización de esta fase:

Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7
Búsqueda de Información				
Sistema Eléctrico, servicios de ajuste y aumento de las EERR	Sector Industrial del Cemento	Sector Industrial del Papel	Sector Industrial de la Metalurgia no férrea	

- **Redacción de la memoria:** Este es el proceso más largo e importante del TFG y en el cual requerí de los consejos y correcciones de mi tutor (Fernando Soto). La realización de esta parte se dividió en dos:

- Realización del estudio de los sectores industriales. Cuya estructura de realización fue:

▪ **Sector Industrial del Cemento:**

Semana 8	Semana 9	Semana 10
Redacción de la Memoria		
Sector Industrial del Cemento		
Introducción y división de sus fases	Explicación de sus fases y participación de las mismas en los servicios de ajuste	Conclusiones y estudio de la curva de carga semanal

Trabajo Fin de Grado: Memoria

▪ Sector Industrial del Papel:

Semana 11	Semana 12	Semana 13
Redacción de la Memoria		
Sector Industrial del Papel		
Introducción y división de sus fases	Explicación de sus fases y participación de las mismas en los servicios de ajuste	Conclusiones y estudio de la curva de carga semanal

▪ Sector industrial de la Metalurgia no férrea:

Semana 14	Semana 15	Semana 16
Redacción de la Memoria		
Sector Industrial de la Metalurgia no Férrea		
Introducción y división de sus fases	Explicación de sus fases y participación de las mismas en los servicios de ajuste	Conclusiones y estudio de la curva de carga semanal

- Realización de la parte introductoria del TFG. Cuya estructura de realización fue:

▪ El Mercado Eléctrico en España:

Semana 17	Semana 18	Semana 19	Semana 20	Semana 21	Semana 22
Redacción de la Memoria					
El Mercado Eléctrico en España					
Situación Actual	Agentes de Mercado	Mercado Eléctrico Intradiario	Mercado de Servicios de Ajuste	Períodos tarifarios	

▪ Procedimientos de Operación:

Semana 23
Redacción de la Memoria
Procedimientos de operación
Explicación de los procedimientos de operación y de los servicios de ajuste asociados a ellos

▪ Análisis de la participación de los servicios de ajuste en Europa:

semana 24
Redacción de la Memoria
Análisis de la participación de los servicios de ajuste en Europa
Sintetización de la información encontrada de los Sistemas Eléctricos de Reino Unido y Francia

9.- Conclusiones:

9.1.- Conclusiones Técnicas:

Tras la realización de la memoria que estudia la posible adaptación de los sectores industriales del cemento, del papel y de la metalurgia no férrea a los servicios de ajuste, se puede concluir diciendo que **sí sería posible esta participación de la demanda industrial.**

Es importante remarcar que desde el punto de vista de capacidad técnica, la citada participación dependería de cada sector industrial estudiado.

El **sector del cemento**, como se ha explicado en el epígrafe 6.2, es un sistema productivo que tiene un patrón de consumo eléctrico muy modulable, ya que se adapta a los diferentes períodos tarifarios del sistema eléctrico. Además, debido a las rampas de subida y bajada que caracterizan a las máquinas que lo componen (generalmente los molinos), puede adaptar gran parte de su potencia a los servicios de ajuste, concretamente **a la reserva de potencia a subir, la regulación terciaria y a la gestión de desvíos.**

El **sector del papel**, tal y como se ha desarrollado en el epígrafe 6.3, se caracteriza por tener un patrón de consumo eléctrico muy constante durante toda la semana, por lo que tiene poca potencia para adaptarse a los servicios de ajuste, aunque aquellos con los que podría colaborar son los mismos que en el sector del cemento: **a la reserva de potencia a subir, la regulación terciaria y a la gestión de desvíos.**

En el **sector de la metalurgia no férrea**, en el cual se han estudiado tanto la producción del zinc, la producción del cobre y la del aluminio, se puede afirmar que debido a las características de estos procesos productivos y a las rampas de subida y bajada que caracterizan a las máquinas que los componen, no son apropiados para participar en los servicios de ajuste del sistema eléctrico. En caso de participar sería ofreciendo reducción de potencia en pequeños porcentajes de su consumo nominal.

Por otro lado, las condiciones económicas actuales que rigen los vigentes mercados de servicios de ajuste, diseñados para la generación, donde podrían participar estos sectores industriales son un obstáculo que habría que salvar si se quiere promocionar esta participación.

En consecuencia, los factores limitantes de la participación de los sectores industriales estudiados en este Trabajo Fin de Grado son tanto las características técnicas de los mismos como los factores económicos de peaje explicados previamente. Concluyendo, se puede afirmar que el sector industrial que mejor puede adaptarse a los requisitos solicitados por los servicios de ajuste y por lo tanto participar en ellos es el del cemento.

Además, como se ha expuesto en el epígrafe 5, esta adaptación de la industria a los servicios de ajuste del Sistema Eléctrico, ya existe en algunos países de Europa por lo tanto, esta situación se debe tomar como una oportunidad. Tanto para la industria como para el operador del sistema eléctrico, cuyo objetivo es la continua búsqueda de una mayor eficiencia en la operación del Sistema Eléctrico.

9.1.- Conclusiones Personales:

Una vez finalizado esta memoria del Trabajo fin de Grado basado en la participación de los sectores del cemento, del papel y de la metalurgia no férrea, este epígrafe será empleado por el autor para exponer sus conclusiones personales tras la finalización de la misma.

El presente Trabajo de Fin de Grado, me ha servido para ampliar mis conocimientos acerca de la regulación de los Sistemas Eléctrico y concretamente, la forma en la que intervienen los servicios de ajuste en el Sistema Eléctrico Español. Este tema ya me pareció interesante en la asignatura de Regulación de Sistemas Eléctricos impartida por Julio Usaola, por lo que decidí escoger este tema para mi Trabajo Fin de Grado.

En este sentido, me he familiarizado con los conceptos que forman parte de los mercados de la electricidad, mercado diario, intradiario, operador de mercado, procesos de casación de ofertas..etc. He descubierto Red Eléctrica, como operador del sistema eléctrico español, aprendiendo de los procedimientos de operación que emplea. Destacando el modo en el que se programa la generación de electricidad y sobre los mercados de ajuste del sistema eléctrico de los que es responsable.

Además, he tomado contacto con la industria española, concretamente con los sectores del cemento, del papel y de la metalurgia no férrea, por lo que he llegado a entender lo complejas que son estas industrias y que se debe estar en continua evolución para ser lo más competitivo posible. Este es el objetivo de este Trabajo Fin de Grado, hacer un análisis preliminar que sirva de lanzadera para que estos grandes consumidores del Sistema Eléctrico Español participen con los servicios de ajuste y de esta forma aumenten su competitividad.

Por último, el hecho de tratar un tema poco conocido en el panorama general y que tiene un potencial tan importante, supuso para mí una gran motivación a la hora de realizar el estudio técnico y la presente memoria. Ya que este documento se puede emplear como punto de partida para posteriores estudios más rigurosos y detallados.

Para finalizar, agradezco la ayuda que me ha aportado mi tutor Fernando Soto durante los momentos en los que lo he necesitado, aportándome siempre su conocimiento al igual que unos excelentes consejos basados en su amplia experiencia en el tema de la Regulación de Sistemas Eléctricos.

10.- Bibliografía:

A continuación se adjunta la relación de artículos, páginas web y libros que se han empleado para la realización de este Trabajo Fin de Grado.

- [1] REE (Red Eléctrica de España) <http://www.ree.es/> (Fecha de consulta: Enero 2013)
- [2] OMIE (Operador del Mercado Ibérico de la Electricidad) <http://www.omie.es/inicio> (Fecha de consulta: Enero 2013)
- [3] BOE (Boletín Oficial del Estado) <http://www.boe.es/> (Fecha de consulta: Enero 2013)
- [4] Documento: “Servicios de Ajuste del Sistema Eléctrico Peninsular Español” <http://www.ree.es/> (Fecha de consulta: Febrero 2013)
- [5] Documento: “El Sistema Eléctrico Español 2012” REE (Red Eléctrica de España)
- [6] Artículo: “Los mercados Eléctricos en Europa” IIT Working Paper. Autor: Jose Ignacio Pérez Arriaga
- [7] Documento: “Servicios de Ajuste (Avance 2012)” <http://www.ree.es/> (Fecha de consulta: Febrero 2013)
- [8] Documento: “Informe sobre el Sector Energético Español” <http://www.cne.es/cne/Home> (Fecha de consulta: Febrero 2013)
- [9] OFICEMEN (Agrupación de fabricantes de cemento de España) <http://www.oficemen.com/> (Fecha de consulta: Marzo 2013)
- [10] CEMEX <http://www.cemex.com> (Fecha de consulta: Marzo 2013)
- [11] Documento: “El sector del Cemento en España” Instituto Cajamar
- [12] Documento: “Estudio de Sectores” DBK <http://www.dbk.es> (Fecha de Consulta: Marzo 2013)
- [13] ASPAPEL (Asociación Española de Fabricantes de Pasta, Papel y Cartón) <http://www.aspapel.es/>
- [14] HOLMEN PAPER <http://www.holmen.com/> (Fecha de Consulta: Marzo 2013)
- [15] Documento: Servicios Estadísticos ASPAPEL (2012)
- [16] Documento: “Fabricación del Papel” TORRASPAPPEL SA.
- [17] Documento: “La metalurgia del Cobre” Atlantic Cooper S.A
- [18] SBM Maquinarias de trituración Shibang <http://sbm.com.sa/> (Fecha de Consulta: Abril 2013)

Trabajo Fin de Grado: Memoria

- [19] Metalurgia Americana <http://metalurgiaamericana.com> (Fecha de Consulta: Abril 2013)
- [20] CINTAL (Centro de Innovación Tecnológica del Aluminio) <http://www.cintal.com.ve> (Fecha de Consulta: Abril 2013)
- [21] Textos Científicos <http://www.textoscientificos.com/quimica/aluminio>
- [22] AXESOR (Empresa de asesoría con más 5000 empresas en su cartera) <http://www.axesor.es/> (Fecha de Consulta: Abril 2013)
- [23] Las Materias Primas <http://lasmateriasprimas.com> (Fecha de Consulta: Abril 2013)
- [24] GRUPOS EMAGISTER <http://grupos.emagister.com> (Fecha de Consulta: Abril 2013)
- [25] ZENITH (Fabricante de maquinaria de trituración) <http://zenith.com> (Fecha de Consulta: Abril 2013)